

# **Exploração de jazigos pequenos ou complexos**

## **Estudo de viabilidade técnico-económica de um estabelecimento extrativo**

**Miguel Ribeiro Mendanha Gonçalves**

**Dissertação submetida para obtenção de grau de  
Mestre em Engenharia de Minas e Geoambiente**

Orientador: Professor Doutor Miguel Tato Diogo

Coorientador: Professor Doutor Alexandre Machado Leite

outubro de 2014

Mestrado Em Engenharia Minas e Geoambiente 2013/2014

Editado por

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



[feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado em Engenharia de Minas e Geoambiente - 2013/2014 - Departamento de Engenharia de Minas e Geoambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais, e minhas Avós

*The best is yet to come*

Carolyn Leigh



## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus pais, à Bá, à Ninha, ao Tata e a toda a minha família, que estiveram sempre presentes e acreditaram sempre no meu sucesso, mesmo nas alturas mais complicadas.

Deixo também um agradecimento especial aos professores orientadores deste trabalho, o professor Miguel Tato Diogo e o professor Alexandre Leite.

Das pessoas que acompanharam todo este caminho que percorri, não posso deixar de agradecer ao José Carvalho pelo apoio incondicional durante todo o percurso académico. Destas ainda se destacam o Berna, o Diogo e o grupo de ambiente.

Agradecimentos especiais à Maria, que sempre me incentivou quando precisei, ao Xico, ao Zé e à Ana Raquel pela companhia durante todas as batalhas. Ao Godinho, ao Mota e ao Campos pela amizade e apoio de todos estes anos.



## **Resumo**

A presente dissertação foca-se numa temática em discussão na atualidade que é a exploração de depósitos pequenos e/ou complexos. Este tema é abordado em algumas das suas vertentes conhecidas como, a exploração de depósitos de pequenas dimensões e o narrow vein mining/exploração de filões de reduzida possança, e que se tenta transpor para um caso de estudo. A viabilidade deste tipo de projetos tem vindo a ser debatida, por diversas entidades da área. A constante necessidade de matérias-primas levou essas mesmas entidades a olhar para os depósitos de menor dimensão como alvo de potencial interesse. Neste contexto tem-se verificado um esforço das mesmas, para o desenvolvimento de novas técnicas de exploração, com a finalidade de reduzir os custos elevados associados à exploração mineira e garantir o acesso a matérias-primas.

O presente caso de estudo, tendo por base um Estudo Conceptual, apresenta uma análise de três opções de exploração de um depósito mineral, a saber: a exploração a céu aberto, a exploração a céu aberto complementada com uma exploração em lavra subterrânea e a exploração em lavra subterrânea na sua totalidade.

Este depósito apresenta-se na forma de um jazigo tungstífero, de formações do tipo escarnítico/skarn com mineralizações em scheelite, sendo este o minério alvo. A análise em questão, faz a comparação entre diversos parâmetros técnico-económicos como, teor de corte, teor médio, métodos de exploração e valores mássicos e volumétricos para parâmetros dos diferentes tipos de exploração equacionados.

A análise acima referida tem o intuito de comparar todos estes parâmetros, para que seja possível uma tomada de decisão quanto à melhor e mais adequada opção de exploração. No decorrer do trabalho tenta-se transpor esta análise para a conjuntura atual dos mercados e da realidade portuguesa no que diz respeito a aspetos legais.

À hipótese resultante da tomada de decisão, são adicionadas, algumas propostas de alterações, que se acredita poderem ajudar a viabilizar o projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tungsténio, skarn, viabilidade, parâmetros técnico-económicos e tomada de decisão.





## Abstract

The present dissertation focuses on the exploration of small and / or complex deposits, theme that is presently under thorough discussion. This is addressed in some of its most well known issues like the exploration of small size deposits and narrow vein deposits, which we aim to translate into a case study. The feasibility of such projects has been debated by several entities in the area. The constant need for raw materials led them to look at smaller dimension deposits of potential interest. In this context an effort has been made for the development of new exploration techniques, in order to reduce the high costs associated with mining and to ensure access to raw materials.

The present study case, based on a Conceptual Study, presents an analysis of three mineral deposit's exploration options: open exploration, open exploration complemented by an underground mining exploration, and underground exploration *per se*.

This mineral deposit is presented in the form of a tungsten deposit of skarn type mineralization with scheelite formations, which is the target element. The analysis in study compares different technical and economical parameters, such as cut-off grade, medium grade, exploration methods and volumetric values for parameters of the different operational methods discussed.

The above analysis aims to compare the different parameters, with the goal of framing the decision making process on the best and most suitable option for mineral exploration. Throughout this work an attempt to transpose this analysis to the current situation of the markets and the Portuguese reality is made, relating to the regulatory and legal aspects as well.

To the hypothesis resulting from the decision-making process, proposed changes believed to help fund the project are added.

**KEYWORDS:** Tungsten, skarn, economics and technical feasibility, decision making process.



# Índice

Agradecimentos.....	5
Resumo.....	7
Abstract .....	9
1. Introdução .....	19
2. A exploração de pequenos jazigos .....	27
2.1. A designação Small Mining .....	27
2.2. A exploração dos jazigos pequenos atualmente .....	29
2.3. Narrow Vein Mining .....	32
3. Breve nota sobre tungsténio .....	35
3.1. O Mineral Scheelite.....	35
3.2. Tungsténio.....	36
3.3. Interesse do tungsténio .....	36
3.4. Pesquisa e prospeção de tungsténio .....	39
3.5. Tipologia dos jazigos de tungsténio .....	39
3.6. Skarn como jazigo.....	40
4. Descrição morfológica e geológica do terreno.....	43
4.1. Enquadramento regional: .....	43
4.2. Descrição do terreno.....	43
4.3. Descrição Geológica do local.....	44
5. Recursos e Reservas .....	47
5.1. Definições .....	47
5.2. Caso de estudo.....	49
5.3. Posicionamento do jazigo em estudo face aos principais jazigos mundiais em termos de teor e tonelagem .....	50
6. Requisitos Legais e suas limitações .....	61
6.1. Enquadramento legal – Lei Geral.....	61
6.1.1. Direito de prospeção e pesquisa .....	61
6.1.2. Direito de exploração .....	62
6.2. Depósitos minerais – Regime jurídico próprio.....	63
6.2.1. Direito de prospeção e pesquisa .....	63
6.2.2. Direito de exploração .....	64
6.2.3. Proteção do ambiente e recuperação paisagística.....	65
6.2.4. Disposições diversas .....	65
6.3. Reserva Ecologia Nacional – Regime jurídico próprio.....	66

7.	Métodos de Desmonte.....	67
7.1.	Desmonte a céu aberto .....	67
7.2.	Desmonte a céu aberto e subterrâneo .....	69
7.3.	Desmonte subterrâneo .....	73
7.4.	Escombreiras .....	73
8.	Análise das opções apresentadas .....	77
8.1.	Análise 1ª Opção .....	77
8.2.	Análise 2ª Opção .....	80
8.3.	Análise 3ª opção .....	81
8.4.	Síntese e decisão.....	83
9.	Detalhes e propostas.....	89
9.1.	Descrição da opção escolhida e soluções propostas.....	89
10.	Conclusão.....	91
11.	Bibliografia .....	93
11.1.	Sítios Consultados:.....	96
12.	Anexos.....	99
12.1.	Tabela de cálculo de valores relativos aos desmontes.....	99
12.2.	Tabelas de cálculo de escombreira de área plana .....	99
12.3.	Tabela de cálculo de escombreira em socacos .....	99
12.1.1	Tabela de cálculo de valores relativos ao desmonte.....	101
12.2.1	Tabela de cálculo de escombreira de área plana .....	103
12.3.1	Tabela de cálculo de escombreira em socacos opção 1.....	105
12.3.2	Tabela de cálculo de escombreira em socacos opção 2.....	107
12.3.3	Tabela de cálculo de escombreira em socacos opção 3.....	109
12.3.4	Tabela de conclusão .....	111

## Índice de Figuras

Figura 1-1 – Volframite ( $\text{FeWO}_4/\text{MnWO}_4$ )	20
Figura 1-2 – Scheelite ( $\text{CaWO}_4$ )	20
Figura 1-3 - Cristal de volframite (cor negra no centro da imagem) num filão de quartzo	21
Figura 1-4 - Esquema de evolução do método de camaras e pilares da mina da Panasqueira	21
Figura 1-5 - Mapa de minas de scheelite e volframite em Portugal	22
Figura 1-6 - Gráfico de variação de cotações	24
Figura 2-1 - Exploração ilegal no Gana	28
Figura 2-2 - Gráfico representativo de contratos assinados	30
Figura 2-3 - Aramine L130 miniLoader	33
Figura 2-4 - Sandvik LH208L	34
Figura 3-1 - Cristal de Scheelite	35
Figura 3-2 - Exemplos de usos de tungsténio	37
Figura 3-3 - Fluxograma de operações	38
Figura 3-4 - Scheelite vista com luz ultravioleta	39
Figura 3-5 - Esquema de formação de skarns	41
Figura 4-1 - Perfil de declive	44
Figura 4-2 - Corte de perfil do jazigo	45
Figura 5-1 – Diagrama de McKelvey	48
Figura 5-2 - Zona de concessão do projeto de Tabuaço.	51
Figura 5-3 - Mapa com localização dos projetos da Almonty Industries	53
Figura 5-4 Localização do projeto de Barruecopardo	54
Figura 5-5 - Pequena mina de exploração em Barruecopardo	54
Figura 5-6 - Céu aberto principal e localização de furos de sondagem	54
Figura 5-7 - Localização de King Island Scheelite Project	55
Figura 5-8 - Mapa da geologia e furos de sondagens no jazigo de Kilba	57
Figura 5-9 - Gráfico dispersão de teores médios versus recursos	58
Figura 7-1 - Típico Desmonte em Flanco de Encosta	70
Figura 7-2 - Típico Desmonte em Corta	70
Figura 7-3 - Mistura de cimento e rejeitos para bombagem	71
Figura 7-4 - Estação de bombagem de Lisheen Mine, Irlanda	72
Figura 7-5 - Corte e enchimento ( <i>cut and fill</i> )	73
Figura 7-6 - Bilhete enviado pelos mineiros encurralados	73

Figura 7-7 - Diferentes fases de trabalho de Raise Drilling	74
Figura 7-8 – Diferentes fases de trabalho de Boxhole Drilling	75
Figura 7-9 - Tipos de Escombeiras segundo a sequência de construção	77
Figura 8-1 - Socalcos vinícolas.	80
Figura 8-2 - Encostas de Loriga preenchidas por socalcos	81
Figura 8-3 - Alguns exemplos de muros de suporte	81

## Índice de tabelas

Tabela 1-1 - Valores para os diferentes tipos de jazigos em 2011 a nível mundial	23
Tabela 2-1 - Características do Small Mining nos países em vias de desenvolvimento	28
Tabela 3-1 - Propriedades físicas da scheelite	35
Tabela 3-2 - Propriedades físico-químicas do tungsténio	36
Tabela 3-3 - Caraterização dos jazigos de tungsténio	40
Tabela 5-1 - Caso de estudo: Tabela de recursos	49
Tabela 5-2 - Caso de estudo: Teor de corte, recursos totais, teor médio	50
Tabela 5-3 - Dados oficiais do projeto de Tabuação	50
Tabela 5-4 - Tabela de dados oficiais do projeto de Los Santos	52
Tabela 5-5 - Dados oficiais do projeto de Barruecopardo	55
Tabela 5-6 - Dados oficiais para o projeto de King Island	56
Tabela 5-7 - Dados oficiais do projeto de Kilba	57
Tabela 5-8 - Recursos totais e teor médio $WO_3$	58
Tabela 5-9 - Principais jazigos mundiais.	59
Tabela 8-1 - Tabela de cálculo de escombreira de área plana primeira opção	79
Tabela 8-2 - Tabela de cálculo de escombreira em socalcos primeira opção	80
Tabela 8-3 - Tabela de cálculo da área de escombreira segunda opção	81
Tabela 8-4 - Tabela de cálculo de escombreira em socalcos segunda opção	81
Tabela 8-5 - Tabela de cálculo da área de escombreira terceira opção	82
Tabela 8-6 - Tabela de cálculo de escombreira em socalcos terceira opção	82
Tabela 8-7 - Tabela de comparação das três opções com dados discriminados	83
Tabela 8-8 - Tabela de comparação de aspetos técnicos	84
Tabela 8-9 - Comparação qualitativa de custos	85
Tabela 9-1 - Reavaliação da comparação qualitativa de custos	90





## **Abreviaturas e símbolos**

EC	Estudo Conceptual
kT	Milhar de toneladas
Mt	Milhões de toneladas
mtu	Metric ton unit – 1 mtu = 10 kg de WO <sub>3</sub>
SM	Small Mining
T	Tonelada/s
W	Tungsténio metal
WO <sub>3</sub>	Tungsténio



# **1. Introdução**

O presente trabalho debruça-se sobre uma temática em voga nos dias que correm, que é a exploração de jazigos de pequenas dimensões, denominado pela União Europeia “Mining of Small and Complex Deposits”.

Embora o título deste trabalho o descreva como um estudo de viabilidade técnico-económica, os constrangimentos relativos à falta de dados e à confidencialidade destes, levou a uma alteração do objetivo final da presente dissertação.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é, com base num Estudo Conceptual, confidencial, fazer uma análise comparativa técnico-económica, das opções de exploração de um jazigo scheelítico de pequenas dimensões, utilizando as linhas gerais das opções mineiras consideradas nesse mesmo estudo.

O acesso a matérias-primas não energéticas, foi durante muitos anos tido como menos prioritário do que as matérias-primas energéticas, como o petróleo e gás natural. Na última década, as grandes potências económicas mundiais como a Europa, Estados Unidos da América, Japão entre outros, reconheceram a necessidade de um fornecimento sustentável das matérias-primas não energéticas. Este facto veio marcar uma mudança nas políticas de exploração mineira de muitos países. Alguns destes países encontram-se altamente dependentes das importações destes materiais, e no caso de aumentos de procura momentânea como o caso do tântalo em 2000 com um aumento da sua utilização em telemóveis, agrava os riscos associados a uma crise de fornecimento de uma dada matéria-prima (European Commission, 2013).

Com a constante necessidade de matérias-primas e com muitas das reservas conhecidas até hoje a caminhar para o fim, iniciou-se uma nova era no que diz respeito à pesquisa e exploração de novos jazigos. Torna-se necessário viabilizar projetos de menores dimensões, através do desenvolvimento de novos métodos e novas tecnologias, conseguindo assim explorar jazigos que outrora não eram viáveis pelos métodos de lavra convencionais. Este tipo de explorações utiliza métodos seletivos para conseguir um melhor aproveitamento dos recursos minerais. Existem alguns constrangimentos que é necessário ultrapassar para viabilizar projetos desta ordem de grandeza, o que levou a Comunidade Europeia a lançar um programa de financiamento para a pesquisa e estudo de jazigos que se enquadram neste tipo de classificação, (European Commission, 2013).

Um dos projetos a decorrer atualmente em Portugal inserido neste programa de financiamentos, é o estudo de depósitos de menores dimensões de minérios auríferos em Portugal, Espanha e no Reino Unido, países parceiros neste projeto, bem como diversas empresas ligadas à exploração de minérios auríferos, com o objetivo de aprofundar conhecimentos e tentar providenciar soluções para a exploração deste tipo de depósitos minerais, (Tools for Mining Small Complex Gold Deposits, 2014).

Opta-se por utilizar um layout da mina de menores dimensões, com galerias mais baixas e mais estreitas, para diminuir os custos de desmonte. Com este tipo de explorações pretende-se diminuir os custos e os

riscos elevados, associados ao investimento num complexo mineiro, uma vez que a duração dos projetos, por ser menor, acaba por limitar o lapso temporal entre o início e o fim da exploração, diminuindo assim o prazo em que possam ocorrer variações das cotações dos minérios que poderão ditar o fim de uma exploração, (International Mining, 2010 e Oxfam America, 2008)

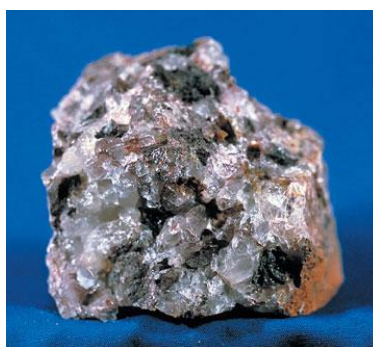
Para que seja possível trabalhar neste tipo de minas, com galerias mais estreitas e baixas do que as utilizadas até agora, várias empresas do ramo têm vindo a desenvolver uma vasta gama de equipamentos mecânicos que permitam trabalhar neste tipo de circunstâncias com todas as condições de segurança, ("Narrow Vein Mining", 2014).

O tungstênio (e volfrâmio) é um elemento químico de símbolo W e também um metal que pelas suas características, como o seu alto ponto de fusão (o mais alto entre os metais) e portanto, grande resistência a altas temperaturas, alta densidade (19,3) chegando quase ao dobro da densidade do ferro, e pela possibilidade de ser incorporado em ligas metálicas, fizeram deste metal um alvo da exploração mineira. Por norma extraído de minerais como a volframite, um tungstato de ferro-manganês ( $\text{FeWO}_4/\text{MnWO}_4$ ), e a scheelite, um tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ ), este material após um tratamento, possibilita a obtenção de concentrados que posteriormente são vendidos para serem incorporados em materiais das mais distintas áreas, ( ITIA, s.d.).



**Figura 1-1 – Volframite ( $\text{FeWO}_4/\text{MnWO}_4$ )**

Fonte: Infopédia



**Figura 1-2 – Scheelite ( $\text{CaWO}_4$ )**

Fonte: RedOrbite

Segundo A. Morais Cerveira, 1982 “parece não ser ousado afirmar-se, o que começa agora a ser generalizadamente aceite, que como outros, atribuamos as maiores potencialidades mundiais de W aos jazigos shceelíticos.”. Esta afirmação continua a ter aceitação entre a comunidade científica que estuda a metalogénese global.

A exploração de minérios de tungsténio é recorrente ao longo da história mineira em Portugal, tanto na forma de shceelite como na forma de volframite, principalmente nas zonas norte e centro do país. Neste momento apenas a Mina da Panasqueira, na zona do Fundão continua a explorar minérios de tungsténio, no caso a volframite. Com o intuito de não se perder esta história mineira, que conta até com contornos ligados à II Guerra Mundial, durante a qual forneceu concentrados de tungsténio à Alemanha e também aos Aliados, para serem incorporados em ligas usadas em componentes bélicos, foi apresentada a 1 julho 2013 ao Instituto Europeu dos Itinerários Culturais uma proposta para a criação das Rotas do volfrâmio na Europa, que se iniciaria em Portugal e se estenderia aos restantes países europeus onde existem minas de volfrâmio (Luxemburger Wort EN,2013).

A mina da Panasqueira conta com uma história de mais de 100 anos, e é uma das poucas minas de volfrâmio a laborar na Europa, e a única a explorar volframite. A sua mineralização caracteriza-se por uma rede vasta de filões sub-horizontais de quartzo onde ocorrem as mineralizações de volframite.” Na região onde se situa a mina da Panasqueira predominam rochas de origem sedimentar que integram uma unidade geológica designada por Complexo Xisto-Grauváquico das Beiras (ante-Ordovícico; > 490 milhões de anos). Estas rochas foram posteriormente deformadas, metamorfizadas e intruídas por granitos. Os minérios da Panasqueira ocorrem em filões sub-horizontais que ocupam uma rede regional de fracturas.”<sup>1</sup>.

Na Figura 1-3 é possível ver um cristal de volframite num filão de quartzo intrudido no xisto.



**Figura 1-3 - Cristal de volframite (cor negra no centro da imagem) num filão de quartzo.**

Fonte: Minas da Panasqueira – Um museu natural

“Foi por altura da Segunda Guerra Mundial que a exploração na Panasqueira atingiu o seu auge. Por essa altura chegou a empregar 11 mil pessoas. Naquelas paragens, a paisagem envolvente indicia uma grande actividade à volta da mina. Na encosta são visíveis numerosas fileiras de casas que eram propriedade da mina até 1994, altura em que a mina fechou pela primeira vez.”, (Raquel Fragata, 2001).

Esta empresa conseguiu através de várias reestruturações ao longo da sua história, voltar ao ativo depois de diversas paragens estratégicas e ditadas pela variação nas cotações deste metal.

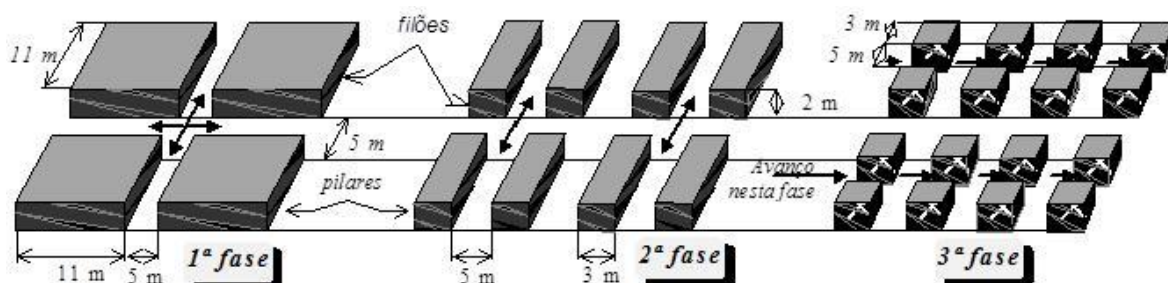
A exploração levada a cabo atualmente pela empresa Beralt Tin & Wolfram Portugal, S.A. é feita com recurso ao método de desmonte de câmaras e pilares, o qual se tenta descrever sucintamente. Iniciado

---

<sup>1</sup> Disponível em, [http://www.mnhnc.ulisboa.pt/portal/page?\\_pageid=418,1391256&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.mnhnc.ulisboa.pt/portal/page?_pageid=418,1391256&_dad=portal&_schema=PORTAL), consultado em 10/2014

com uma nova rampa ao nível a explorar, criam-se galerias travessas de 5 metros de largura por 2 metros de altura, formando uma quadrícula de 11 metros por 11 metros na primeira fase. Isto dá origem às quadrículas/colunas de 11x11 metros que são avaliadas através de sondagens. Se a zona em questão for promissora inicia-se a segunda fase de desmonte, passando as quadrículas/colunas a ter uma dimensão de 11x3 metros e posteriormente na terceira fase 3x3 metros, (DINIS DA GAMA, 2002).

Para melhor explicitar este método na Figura 1-4 apresenta-se um esquema bastante elucidativo.



**Figura 1-4 - Esquema de evolução do método de câmaras e pilares da mina da Panasqueira**

Fonte: INTERPRETAÇÃO GEOMECÂNICA DA SUBSIDÊNCIA NA MINA DA PANASQUEIRA

Outras não tiveram a mesma sorte, onde se podem salientar nomes como as Minas da Borralha no concelho de Montalegre distrito de Vila Real, as Minas do Vale das Gatas no concelho de Sabrosa distrito de Vila Real ou as Minas da Ribeira no concelho e distrito de Bragança. Estas minas contaram com investidores de várias nacionalidades e complexos mineiros onde existiam o bairro mineiro e até escolas. Chegaram a empregar cerca de 2000 pessoas, mas com o final da II Grande Guerra e a baixa das cotações não resistiram e tiveram de encerrar portas pouco tempo depois. As populações ainda hoje se referem às minas com saudade, pois estas representaram uma grande evolução nas regiões em questão. Existe ainda o interesse por parte de várias autarquias em reabilitar os antigos coutos mineiros, para que possam ajudar a ilustrar a história das regiões, (Rotas do volfrâmio na Europa, s.d.)

Na Figura 1-5 é possível observar um mapa onde se encontram marcadas as principais minas de scheelite e volfrâmite do país.



**Figura 1-5 - Mapa de minas de scheelite e volfrâmite em Portugal**

Fonte: Rotas do volfrâmio na Europa.

Relativamente aos depósitos de minérios de tungsténio a nível mundial, são apresentadas na Tabela 1-1 algumas estimativas relativas aos tipos de jazigo de tungsténio a nível mundial.

**Tabela 1-1 - Valores para os diferentes tipos de jazigos em 2011 a nível mundial**

Tipo de jazigo	Tamanho do depósito (mtu)	Teor Medio (% $W_{O_3}$ )	Tungsténio metal estimado W (kt)	% do total
Skarn	$<10^4 - 5*10^7$	0,3 – 1,4	1764	42,66
Filonianos/brechoides/stock-work	$10^5 - 10^8$	Variável	1475	35,67
Pórfiros graníticos	$<10^7 - 10^8$	0,1 – 0,4	679	16,42
Disseminados/greisen	$<10^7 - 10^8$	0,1 – 0,5	217	5,24
Total	-	-	4135	100

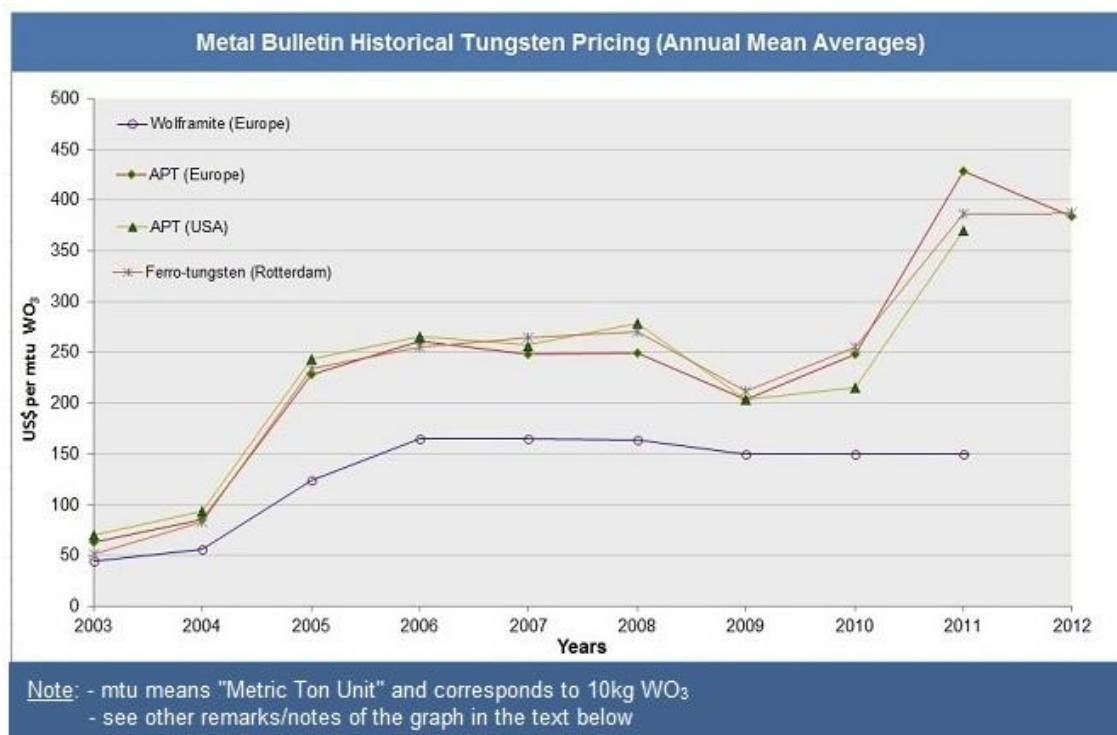
Fonte: adaptado de Tungsten, British Geological Survey

A título de exemplo em Portugal para os jazigos do tipo filoniano/brechoides/stock-work encontram-se jazigos como o da Mina da Panasqueira, o jazigo da Mina da Borralha, jazigo da Mina do Vale das Gatas e Minas da Ribeira (Noronha, Farinha Ramos, Moreira, Oliveira, 2006).

No que diz respeito aos jazigos do tipo skarn encontra-se em Portugal, o jazigo da Mina de Tabuaço, no qual decorrem à data estudos para a viabilização de um projeto de exploração mineira subterrânea (EUROCOLT Resources, 2013).

Nos últimos 10 a 15 anos o tungsténio tem vindo a experimentar uma subida nas cotações devido à constante procura deste material, cada vez mais utilizado em novas tecnologias, e pelo facto de o maior exportador deste material, a China, ter parado as exportações para iniciar um período de importação do mesmo material, levou a um aumento da procura, o que se refletiu rapidamente nas cotações. Num comunicado de imprensa por parte Comissão Europeia em junho de 2012, a Organização Mundial de Comércio demonstrou o seu descontentamento com as restrições impostas pela China no que diz respeito às exportações de terras raras, tungsténio e molibdénio: “A China impõe um conjunto de restrições à exportação, incluindo os direitos de exportação, quotas de exportação e requisitos adicionais que limitam o acesso a matérias-primas para as empresas fora da China. Estas medidas afetam significativamente o mercado e favorecem a indústria chinesa em detrimento de empresas e consumidores na UE e no mundo.” (European Comisson, 2012).

No gráfico presente na Figura 1-6 é apresentada a evolução das cotações de 2003 até 2012, para vários produtos de tungsténio.



**Figura 1-6 - Gráfico de variação de cotações**

Fonte: Sítio INTERNATIONAL TUNGSTEN INDUSTRY ASSOCIATION<sup>2</sup>

No gráfico da Figura 1-6 são apresentadas as variações das cotações dos vários produtos dos minérios de tungsténio, onde é possível ver a variação do preço em dólares americanos desde o ano de 2003 até 2012. Como se pode verificar em 2004 ocorreu um aumento considerável nas cotações dos diferentes produtos, e que segundo o então Presidente da EDM (Empresa de Desenvolvimento Mineiro), também se fez sentir em Portugal, assim o relatou numa entrevista em 2005: “A partir dos dados estatísticos, atentamente coligidos pela DGGE, pode verificar-se que em 2004 houve um crescimento global do valor da produção superior a 9% relativamente a 2003 (preços correntes). Crescimento esse que, creio não errar, deverá ser ainda maior em 2005, face à impressionante subida das cotações do cobre e, ultimamente, do volfrâmio.”, (Delfim de Carvalho, 2005).

Depois de uma diminuição na progressão das cotações e após uma queda pouco considerável nas cotações destes materiais, constata-se mais uma subida pronunciada em 2010, e que mais uma vez afeta também Portugal trazendo benefícios e investimentos ao País: “No ano de 2010 o valor de produção da indústria extrativa nacional aumentou cerca de 32% em relação a 2009, alcançando 1 276 milhões de Euros. Este ano, contrariando a queda de 2008 e 2009, foi um bom ano para o sector da indústria extrativa nacional, fundamentalmente para o sector dos minerais metálicos. Com a manutenção das cotações dos metais em alta, verificou-se um forte interesse no investimento em novos projectos, nomeadamente de ouro, metais básicos e volfrâmio.”, (DGEG, 2011).

<sup>2</sup> Disponível em, <http://www.itia.info/tungsten-prices.html>, consultado em 06/2014



Este trabalho apresenta uma análise comparativa de diferentes soluções extrativas para a exploração de um jazigo de tungsténio, tendo por base um Estudo Conceptual.

Partindo dos dados de base do Estudo Conceptual no referente aos recursos disponíveis, teores médios, teores de corte e linhas gerais das opções mineiras consideradas, são inseridas neste trabalho, modificações essencialmente relacionadas com a realidade económica e legal portuguesa.

Embora não identificados, ao longo do presente texto, por motivos de confidencialidade, os valores retirados diretamente do Estudo Conceptual supracitado, são do conhecimento e aferição dos orientadores da presente dissertação.



## **2. A exploração de pequenos jazigos**

### **2.1. A designação Small Mining**

Como tudo o que se inicia nunca começa em grande, a exploração mineira não é exceção, tendo por isso sido iniciada por diversas civilizações que utilizavam matérias-primas para desenvolver artefactos que vão desde peças uteis à sobrevivência, como materiais para a caça e a agricultura até peças ornamentais. Estas explorações eram de pequena dimensão e foram crescendo à medida que o Homem foi aumentando a sua necessidade de matérias-primas, tendo sido a Revolução Industrial a gerar o boom da exploração mineira e a incentivar a produção em grande escala, levando à criação de minas de grandes dimensões, (Eduardo Chaparro Ávila, 2003).

Nos dias que correm torna-se cada vez mais usual o debate sobre minas de menor envergadura com depósitos minerais de menor escala comparativamente com os jazigos explorados até então. Este tipo de explorações dá pelo nome de Mining of Small and Complex Deposits. Esta nomenclatura pode gerar alguma confusão, com a já utilizada, Artesanal and Small Scale Mining, vulgarmente conhecida por Small Mining, para minas de pequena envergadura ou minas de exploração artesanal. Muitas destas minas não têm qualquer tipo de licenciamento, como se verifica em África, na América Latina e na Ásia, nos países em vias de desenvolvimento. Estas explorações são muitas vezes iniciadas por empresas familiares, ou pequenas comunidades que exploram minérios nos seus terrenos (Geocenter Copenhagen, 2007).

Segundo o sítio do governo sul-africano, tenta-se agora integrar estas explorações num plano nacional de mineração para que seja possível identificar e legalizar todas estas pequenas explorações, para realizar projetos de recuperação para estas minas, que após o fim da exploração ficam ao abandono.

Principalmente em África esta situação repete-se, com a agravante de ocorrerem conflitos entre as povoações próximas às minas e guerrilhas armadas para conseguirem os melhores terrenos. As técnicas utilizadas são rudimentares e recorrem em grande parte à força humana, para levar avante a produção (Eduardo Chaparro Ávila, 2003).

Não existem preocupações ou precauções com os danos ambientais, recorrendo-se ainda hoje a técnicas como a amalgamação do ouro com mercúrio, prática que se encontra proibida por lei no sector mineiro na maior parte dos países pelos danos ambientais que causa (Geocenter Copenhagen, 2007).

Alguns países africanos como o Gana, Tanzânia e Zimbabué já englobam este tipo de explorações nas suas legislações e permitem a obtenção de licenças de exploração destes recursos, mas apenas um número reduzido de explorações se encontra a laborar de acordo com a legislação (Geocenter Copenhagen, 2007).

Na Figura 2-1 pode-se verificar as condições de trabalho neste tipo de minas ilegais.



**Figura 2-1 - Exploração ilegal no Gana**

Fonte: Friends of the Nation<sup>3</sup>

Na Austrália, país com grande tradição mineira e com regras muito rígidas no sector mineiro, segundo o The Wall Street Journal, existiam cerca de 6000 prospetores a trabalhar em part-time ou a tempo inteiro em 2011. Nesse mesmo ano foram entregues 1721 licenças de prospeção e pesquisa a privados ou pequenas empresas. Isto ocorreu durante a recente corrida ao ouro devido à crescente crise económica global que se faz sentir desde 2008.

Na Tabela 2-1 apresentam-se algumas características típicas do SM.

**Tabela 2-1 - Características do Small Mining nos países em vias de desenvolvimento**

Recurso intenso a força humana	Precariedade das condições de trabalho e saúde	Estimulo da economia regional
Técnicas pouco desenvolvidas	Conflitos sociais e legais	Encorajamento de desenvolvimento local
Sustentam mercados locais	Baixos custos de produção	Encorajamento a investimento
Produce vasta gama de produtos	Interesses de várias partes	Explora novos depósitos
Danos ambientais	Tamanho e produção variáveis	Alta dispersão geográfica

Fonte: Small-scale Mining: a new entrepreneurial approach.

<sup>3</sup> Friends of the Nation, <http://fonghana.org/rights-and-voices-for-sustainable-small-scale-mining/>, consultado em 09/2014

## **2.2. A exploração dos jazigos pequenos atualmente**

Devido à ligação existente entre os minérios explorados, quer sejam eles metálicos ou não metálicos, aos mercados estes, estão sujeitos a todas as oscilações que afetam as economias mundiais. Assim sendo, será facilmente compreensível que um mineral que nos dias de hoje se encontra com cotações elevadas, associadas a um qualquer motivo económico (como por exemplo os conflitos militares fizeram disparar as cotações de tungsténio durante as Grandes Guerras, crises económicas, aumentos de procura ou redução das reservas conhecidas), possa rapidamente sofrer quedas acentuadas, por entrar em desuso ou por uma produção excessiva, podendo ditar o fim de explorações do material em questão, (John F. Papp, E. Lee Bray, Daniel L. Edelstein, Michael D. Fenton, David E. Guberman, James B. Hedrick, John D. Jorgenson, Peter H. Kuck, Kim B. Shedd, and Amy C. Tolcin; 2008).

Com o intuito de diminuir o risco associado à volatilização das cotações dos metais nos mercados internacionais, e pela pressão de recuperar os investimentos num curto período de tempo, novas tecnologias e métodos têm sido desenvolvidos para que seja possível a exploração num curto período de tempo. Este tempo é por norma de 8 a 15 anos, para que não seja necessária a construção de anexos definitivos, ou outras infraestruturas. Apresentam-se agora 3 exemplos de minas de curta duração:

Goldcorp's San Martin Gold Mine nas Honduras, que iniciou a exploração em 2001 e ainda se encontravam à data da publicação deste documento a laborar, mas que apontava para o encerramento de um céu aberto de pequenas dimensões para o fim de 2009, sendo a duração do projeto de 9 anos.

Goldcorp's Marlin Gold Mine na Guatemala que iniciou a exploração em 2005, e com data prevista de encerramento para 2015. Esta mina é de dimensões consideravelmente maiores do que o exemplo anteriormente apresentado, pelo que tem uma vida útil prevista de 10 anos.

A empresa Pacific Rim Mining Corporation apresentou em 2005 um estudo de viabilidade, que com base nos recursos provados e prováveis, apontava para um período de vida útil de 6,2 anos. Num outro estudo, menos aprofundado, afirmou que existe ainda a possibilidade de aumentar esses recursos, mas assegura que aumentando a produção anual em 2,5 vezes permitirá que a mina se mantenha com o calendário previsto, sem ser necessário aumentar o número de anos do projeto (Oxfam America, 2008).

Assim sendo, foi definido o Business Risk Period (BSR), que se define como o período crítico do projeto, que define qual a longevidade do projeto para que o mesmo seja economicamente viável. Este período apresenta enormes variantes pelo que não se pode generalizar um período certo para todos os jazigos de menor envergadura. Para os casos de minas a céu aberto com grandes profundidades o período para a recuperação dos investimentos pode ir até 10 anos (O. Steffen, 1997).

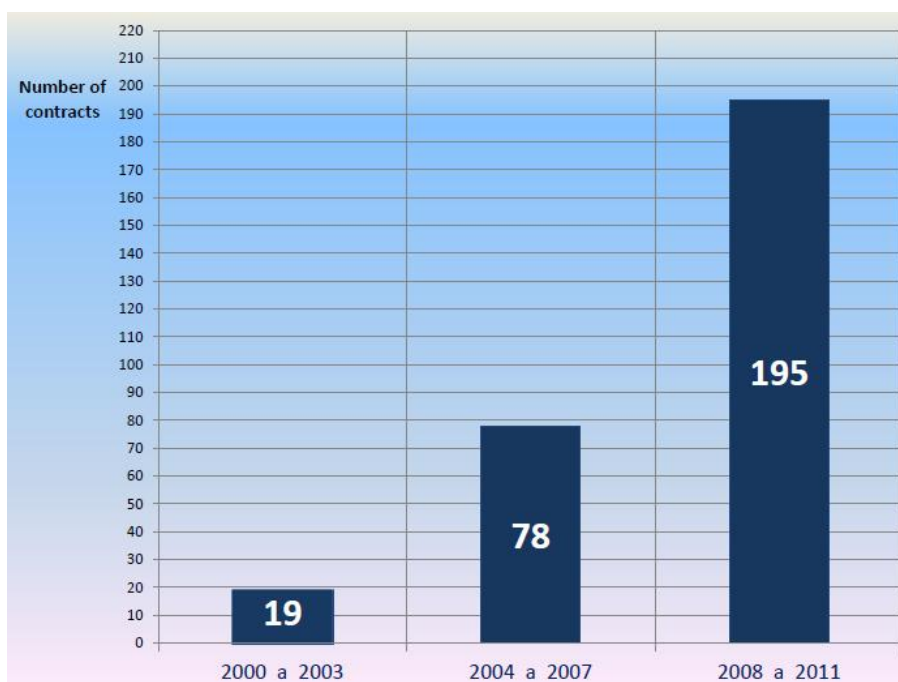
Na Europa, existe uma constante procura de matérias-primas, quer sejam metálicas ou não, e com a diminuição da atividade mineira em muitos países da União Europeia, esta encontra-se fortemente dependente da importação deste tipo de materiais de países como a China e os Estados Unidos da América. Assim sendo, a UE lançou planos de financiamento dentro de um programa denominado Horizonte 2020, que pretende dar apoio financeiro a diversas áreas que venham dinamizar e fomentar a economia da Europa. Neste programa existe uma vertente destinada à exploração de recursos minerais. Na elaboração deste programa constatou-se que na Europa atual encontram-se alguns problemas na localização de novos jazigos, como a alta densidade populacional, as altas profundidades a que estes se

encontram, ou a possibilidade de se encontrarem em ambientes extremos como o Ártico ou fundos oceânicos (European Commission, 2013).

A Europa, no conjunto dos seus países constituintes, foi altamente explorada ao longo dos séculos o que levou a uma exaustão de muitos dos jazigos conhecidos, e no entanto nas últimas décadas a pesquisa por novas fontes de materiais, não acompanhou o ritmo das explorações. Pelo que se conhece até ao momento, os novos depósitos encontram-se a grandes profundidades ou são de pequena escala, o que se torna um constrangimento para os métodos de exploração vulgarmente utilizados por questões de viabilidade (European Commission, 2013).

No seguimento deste programa de apoios é proposto que se apresentem candidaturas que promovam explorações em jazigos de pequena envergadura, ou de difícil acesso, conseguindo encontrar formas economicamente viáveis e que respeitem todas as condicionantes ambientais e sociais. Nestas propostas devem ser tidos em conta factores como a problemática de acessos a este tipo de depósitos, viabilidade industrial e todos os impactos ambientais associados ao mesmo (European Commission, 2013).

Numa apresentação no âmbito deste plano de apoios da Comissão Europeia, Carlos Caxaria, atual presidente da Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM), apresenta Portugal como um país de oportunidades para o investimento mineiro e sua evolução. Afirma que embora seja um país de pequenas dimensões, este apresenta grande variedade de recursos geológicos, e que nos últimos anos começou a surgir novamente o interesse nestes recursos. Este interesse traduz-se num aumento dos contratos de pesquisa e prospeção que se tem verificado desde 2004 e que tem vindo a aumentar significativamente. É possível acompanhar a evolução do número de contratos assinados na Figura 2-2.



**Figura 2-2 - Gráfico representativo de contratos assinados**

Fonte: Portuguese Engagement on the EIP on Raw Materials Mineral Resources: Opportunities in Portugal

Afirma ainda que desde 2012 foram entretanto assinados mais 53 contratos de exploração.

Portugal integra o European Innovation Partnership on Raw Materials (EIP), que resulta de vários anos de trabalho em equipa com os países da União Europeia. Assim sendo o EIP leva ao encontro as partes interessadas com o intuito de numa dinâmica de grupo se para se promover a inovação ao longo de toda a cadeia de valor das matérias-primas. Os principais objetivos são apostar na inovação e conseguir um fornecimento sustentável de matérias-primas à UE, que se encontra altamente dependente das importações de diversas matérias-primas.

Assim sendo, foi desenvolvido o Strategic Implementation Plan (SIP), onde é referido que uma das melhores opções de acesso a matérias-primas, serão os jazigos que se encontram a grandes profundidades, os jazigos de pequenas dimensões e depósitos de superfície não-convencionais. A exploração dos fundos marinhos e no Ártico são outras das opções apresentadas.

“Área de atuação: n.º I.2: Exploração: As ações devem investigar novos conceitos, tecnologias e modelos de exploração no continente e no fundo marinho e devem servir como ferramentas para fornecer dados de matérias-primas (levantamentos geológicos e da indústria) para criar uma nova base de dados confiável (para o potencial mineral da UE), a fim de alimentar a base de conhecimento da UE sobre matérias-primas primárias e secundárias. As ferramentas recém-desenvolvidas podem ser utilizadas pelas autoridades para melhor desenvolver o planeamento do uso dos terrenos. O objetivo final é descobrir novos recursos e abrir novas minas.” (Strategic Implementation Plan for the European Innovation Partnership on Raw Materials Part I, 2013).

“Área de atuação: n.º I.3: extração inovadora de matérias-primas: As ações devem permitir e facilitar o desenvolvimento da competitividade global pelas atividades de exploração de matérias-primas de uma forma sustentável. Também irá fornecer exemplos de novas soluções limpas e seguras que facilitem a aceitação pública da mineração e exploração florestal, apoiando a racionalização do processo de licenciamento e em última análise, o aumento da produção interna da UE de matérias-primas.” (Strategic Implementation Plan for the European Innovation Partnership on Raw Materials Part I, 2013).

“Área de atuação: n.º I.4: processamento e refinação de matérias-primas: As ações devem desenvolver ajuda flexível inovadora para recuperar materiais valiosos de baixo teor e/ou complexos de matérias-primas na Europa, aumentando a gama e os rendimentos de matérias-primas recuperadas. As ações devem também reduzir a pegada ambiental e dependência das importações, e facilitar a aceitação pública de operações de abastecimento de matérias-primas.” (Strategic Implementation Plan for the European Innovation Partnership on Raw Materials Part I, 2013).

Entre as várias ações apresentadas que se pretendem desenvolver, encontra-se a exploração de massas minerais pequenas ou de teor baixo. Nesta opção é salientado que é necessário desenvolver esta vertente da mineração de modo a conseguirem-se conceitos e soluções de baixo custo e ambientalmente saudáveis para a exploração de jazigos minerais. É ainda evidenciado que estes projetos devem ter capacidades de pré-processamento e refinação nas suas imediações, utilizando os bens de uma mina maior ou tecnologias flexíveis e móveis de mineração (Strategic Implementation Plan for the European Innovation Partnership on Raw Materials Part II, 2013).

O sucesso destes projetos poderá levar ao desbloqueamento de depósitos na Europa que não são passíveis de ser explorados por métodos convencionais, por se tornarem economicamente não-viáveis (Strategic Implementation Plan for the European Innovation Partnership on Raw Materials Part II, 2013).

A empresa canadiana EUROCOLT Resources aponta Portugal como tendo uma das melhores jurisdições para a indústria mineira no mundo. Descreve o país como um país “amigo” da indústria mineira, com muitos recursos por explorar, com baixo risco político, acessos a rede rodoviária, luz e água nas zonas em questão, pessoal qualificado para o trabalho e acessos a projetos de financiamentos nacionais e da União Europeia.

Esta empresa apresentou candidaturas associadas a dois projetos em território português submetidos a Comissão Europeia no âmbito do programa Horizonte 2020: o projeto de exploração de ouro de Boa Fé e Montemor (que não foi aprovado) e o projeto de exploração de tungsténio em Tabuaço. Este último projeto assemelha-se ao projeto em discussão neste trabalho e também conta com problemas relativos à localização e à viabilidade do mesmo, devido à sua menor dimensão, (EUROCOLT Resources, 2013)

### **2.3. Narrow Vein Mining**

“The future of mining is not just automation, it's also opening up new areas that manned mining simply could never before reach.” (Cole Latimer, 2013).

Dentro da exploração de jazigos de pequenas dimensões, encontra-se uma subdivisão que dá pelo nome de Narrow Vein Mining, que traduzido à letra é a exploração que trabalha com filões de reduzida possança. Esta tem sido uma área com grandes desenvolvimentos nos últimos anos, principalmente na América Latina e África do Sul, embora se encontrem um pouco por todo o mundo. Estas minas caracterizam-se por espaços extremamente pequenos, face às explorações subterrâneas usuais, para assim conseguirem minimizar os custos das explorações, tornando viáveis jazigos que de outra forma não o eram (International Mining, 2010).

Os narrow veins ou filões de reduzida possança são filões, que ocuparam espaços vazios como falhas e diáclases. Este tipo de formação adota a forma das zonas em que se infiltra, pelo que estas estruturas ocorrem com grandes variações no respeitante à forma, possança e atitude. Alguns destes filões apresentam-se longos e contínuos, enquanto outros são mais curtos e não tão contínuos. Estes filões podem conter ramificações, dobramentos ou outro tipo de estruturas geológicas. Os filões apresentam cores brancas/claras bem distintas das rochas envolventes, sendo por isso de fácil identificação e facilitando a necessidade de seguir estas zonas mineralizadas ("Narrow Vein Mining", 2014).

À medida que as explorações que recorrem a métodos mais usuais atingem maiores profundidades, os custos a ela associados também aumentam, tornando-se também mais difícil encontrar teores elevados, pelo que a exploração de filões de reduzida possança é apontada como uma possibilidade de reduzir custos, uma vez que utiliza áreas de secção mais pequenas, tentando desmontar apenas o essencial para a exploração do minério (Cole Latimer, 2013).

Muitas das minas que exploram este tipo de formações não têm reservas que lhes permitam prolongar por muitos anos as atividades de exploração, embora apresentem recursos significantes. Isto não acontece apenas para os minérios auríferos, mas também com outro tipo de minérios como por exemplo filões contendo minérios de prata, estanho, metais básicos entre outros. A avaliação destes depósitos apresenta-se como um enorme desafio, pois para além de ser dispendiosa para os recursos em questão, é usualmente dividida em duas fases. Geralmente iniciada com campanhas de pesquisa através de sondagens para aferir e estimar valores para os recursos inferidos e indicados, mas para aumentar o nível de confiança e passar estes dados a recursos medidos, utilizam-se por norma métodos subterrâneos ao longo das formações



geológicas. Ainda assim torna-se difícil a tarefa de obter dados com elevada certeza, uma vez que estas estruturas variam, de forma, teor, inclinação e continuidade (Canadian Institute of, Mining, Metallurgy and Petroleum, 1997).

Um exemplo australiano conhecido de uma mina de ouro na vertente de filões de reduzida possança é a mina de Norseman, na Austrália Ocidental, que está em operação quase contínua há cerca de 70 anos, mas é tido como um caso raro e é apontado como período de vida útil mais 2 anos, devido às suas reservas.

O desafio na exploração deste tipo de formações é orientar as operações de modo a produzir minério de forma economicamente viável com o mínimo de diluição possível e ao menor custo, respeitando sempre as necessidades de segurança e proteção meio ambiente. Diversos métodos de desmonte são usados para os diferentes corpos de minério em minas distintas com base em factores como a competência do maciço rochoso, largura dos filões, mergulho e teor, e volumes de material mineralizado ("Narrow Vein Mining", 2014).

As especificidades deste tipo de minas, levaram diversas empresas de maquinaria mineira, a desenvolver uma vasta gama de equipamentos para trabalhar neste tipo de condições. A maquinaria necessária para laborar nestas condições é altamente especializada, e tem de permitir manter os elevados padrões de seletividade dos métodos de desmonte escolhidos para cada situação, caso contrário poderão comprometer o sucesso da exploração (International Mining, 2010).

A título de exemplo apresenta-se na Figura 2-3 uma Aramine's L130 miniLoader, ou seja, uma pá carregadora de pequenas dimensões, com 1,985 metros de altura e 1,040 metros de largura, o que são medidas extremamente baixas para este tipo de equipamentos. Esta máquina era na altura a melhor máquina da gama produzida até ao momento, e tratava-se de uma parceria entre a Aramine e a Atlas Copco (International Mining, 2010).



**Figura 2-3 - Aramine L130 miniLoader**

Fonte: International Mining

Outro tipo de maquinaria conhecida deste ramo de mineração são as LHD, Low Haul Dumper, outro tipo de pá carregador de baixo perfil. Exemplo deste tipo de maquinaria é a Sandvik LH203E, preparada especialmente para trabalhar em espaços reduzidos, e sem exaustão de fumos, por trabalhar eletricamente, presente na Figura 2-4.



**Figura 2-4 - Sandvik LH208L**

Fonte:Sandvik

## 3. Breve nota sobre tungsténio

### 3.1. O Mineral Scheelite

A scheelite é um tungstato de cálcio de forma química  $\text{Ca}(\text{WO}_4)$ , identificado em 1821 por Karl Caesar von Leonhard, que lhe atribuiu o nome scheelite em homenagem a Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), um químico experimental sueco, por este ter provado já em 1781 a existência de óxido de tungsténio na scheelite. É um mineral primário de tungsténio frequentemente associado a zonas de metamorfismo de contacto, zona de greisens e veios hidrotermais de alta e média temperatura, em pegmatitos graníticos e depósitos aluvionares (Jolyon Ralph, Ida Chau, s.d.).

As suas propriedades físicas principais apresentam-se na Tabela 3-1:

**Tabela 3-1 - Propriedades físicas da scheelite**

<b>Cor</b>	Incolor, branco, amarelo pálido, amarelo acastanhado, amarelo avermelhado.
<b>Transparência</b>	Transparente, translucido, opaco
<b>Risco</b>	Branco
<b>Brilho</b>	Adamantino, vitrio
<b>Clivagem e fratura</b>	Distinta, irregular, sub-concoidal
<b>Dureza</b>	4,5 - 5
<b>Densidade</b>	6,12 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Mineralogy Database

Este mineral tem um sistema cristalino tetragonal, e os cristais apresentam-se muitas vezes como pseudo-octaedros como é possível verificar na Figura 3-1, podendo no entanto apresentar outras formas.<sup>4</sup>



**Figura 3-1 - Cristal de Scheelite**

Fonte: minfind

<sup>4</sup> Disponível em; <http://www.webmineral.com/>, consultado em 10/2014

### 3.2. Tungstênio

O tungstênio ou volfrâmio é um elemento químico de símbolo W e número atômico 74, e dos poucos elementos químicos com dois nomes. A origem do nome tungstênio remonta à Suécia onde lhe foi atribuído o nome tung sten, que significa pedra pesada. Quanto ao nome de volfrâmio deriva do alemão wolf rahm que significam lobo e espuma respectivamente, e ao que tudo indica este foi o nome pelo qual ficou conhecido na Idade Média entre os metalúrgicos, por se depararem com a formação de uma espuma que consumia o estanho, sempre que utilizavam minérios que continham volframite. Foi descoberto e separado pela primeira vez em 1783 pelos irmãos Fausto e Juan José Elhuyar em Espanha, ao descobrirem um ácido na volframite que conseguiram reduzir com carvão ativado obtendo assim tungstênio metal, (Mark Winter, n.d.)

Na Tabela 3-2 apresentam-se algumas características deste elemento:

**Tabela 3-2 - Propriedades físico-químicas do tungstênio**

<b>Número atômico</b>	74
<b>Massa atômica</b>	183.84
<b>Ponto de fusão</b>	3422°C
<b>Ponto de ebulição</b>	5555°C
<b>Densidade</b>	19.3 g/cm <sup>3</sup>
<b>Estado à temperatura ambiente</b>	Sólido
<b>Classificação química</b>	Metal de transição
<b>Grupo</b>	6

Fonte: WebElements

### 3.3. Interesse do tungstênio

O tungstênio é um metal de alta densidade (19,3 g/cm<sup>3</sup>) de cor branca acinzentada no estado puro, embora não ocorra na natureza sem estar associado a outros elementos. Tem uma estrutura cristalina, cúbica de corpo centrado. Caracteriza-se pela sua elevada robustez e por ter o mais alto ponto de fusão (3422°C) entre os metais, o que levou à sua utilização para os filamentos de lâmpadas. Por este conjunto de factores, este material tem grande utilidade a nível industrial, sendo usado no fabrico de ligas metálicas, conferindo-lhes grande resistência mecânica, mesmo a elevadas temperaturas, daí a sua aplicação em peças de artilharia. É ainda utilizado na forma de carboneto de tungstênio para peças de perfuração utilizadas na indústria mineira por apresentar grande resistência ao desgaste. É considerado como um dos melhores materiais para revestimentos anticorrosivos, e na indústria química apresenta uma ampla gama de aproveitamentos, desde lubrificantes a pigmentos, etc, (Morais Cerveira, 1982).

Atualmente os seus principais usos são, a utilização de monocarbeto de tungstênio (WC) para a produção de metais duros, aços rápidos e aços resistentes à corrosão, bem como na produção de ligas metálicas (ITIA, 2011).

Novas utilizações do tungstênio têm vindo a ser estudadas, como por exemplo a construção de painéis solares de reduzida espessura e flexíveis, recorrendo a tungstênio e selênio, criado pela Vienna University of Technology, que segue os estudos nesta área (ITIA, 2014).



**Figura 3-2 - Exemplos de usos de tungsténio**

Fonte: superior esquerda: Freepik; superior direita: Bango; inferior esquerda: DillerMine; inferior direita: BYHSTORE,

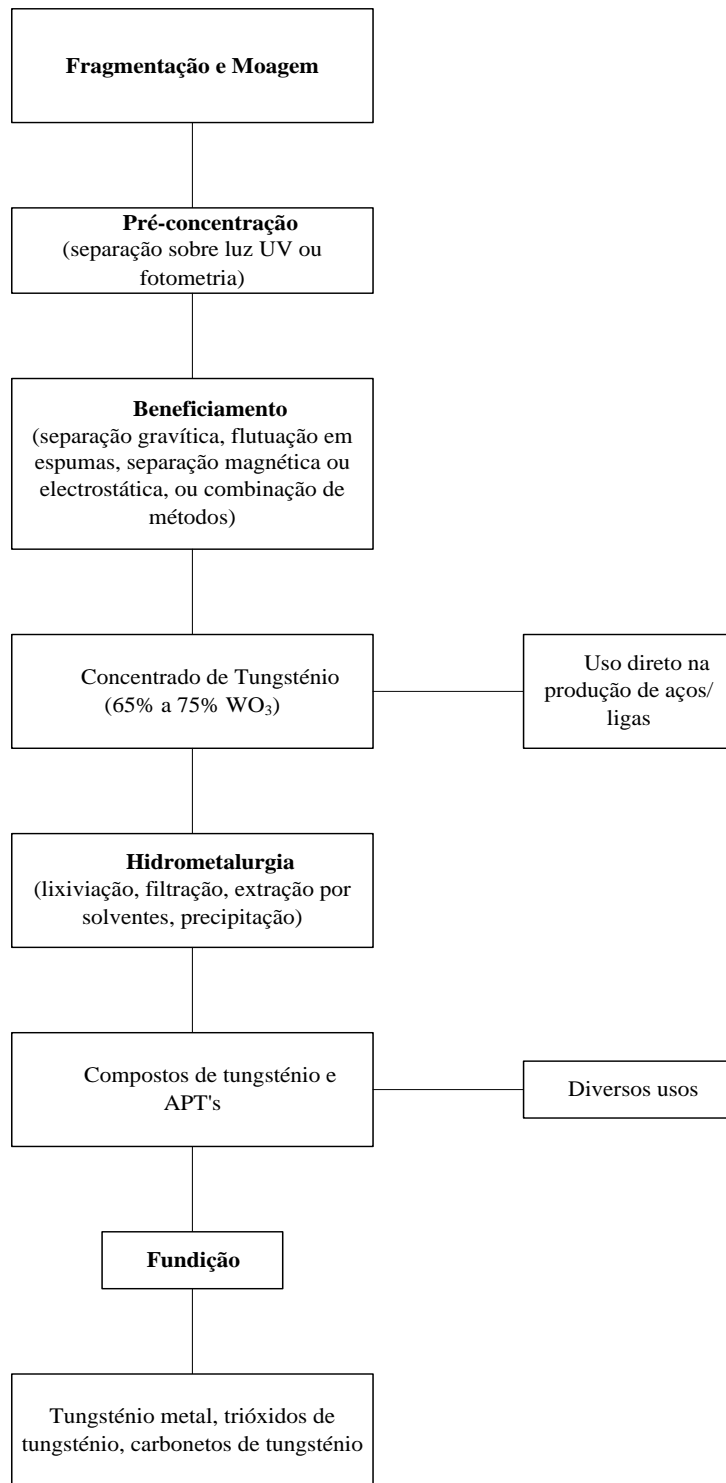
No passado destaca-se o consumo deste material durante a primeira e segunda Guerra Mundiais o que dá a este metal uma conotação de “metal de guerra”, que era incorporado em ligas metálicas, destinadas à produção de materiais com fins bélicos, (Morais Cerveira, 1982).

No livro “O Estado Novo e o volfrâmio” de João Paulo Avelãs Nunes é descrito sucintamente o tratamento dos minérios de tungsténio.

“As formas de tratamento dos minérios de tungsténio dependem, quer da sua densidade e friabilidade, quer do facto de estarem acompanhados por rocha encaixante ( xistosa, granítica, argilosa, quartzítica, ou calcária) cassiterite, sulfuretos metálicos ( arsenopirite, pirite, calcopirite), carbonatos ( siderite, dolomite), apatite, moscovite ou quartzo. Utilizam-se metodologias tendo por objectivo evitar a produção de “finos” (superfragmentações) e recuperar o mineral útil tão cedo quanto possível. Concretiza-se separação manual ou mecânica do estéril e recorre-se a máquinas de fragmentação com pequenas relações de redução de inertes. Efectua-se a crivagem e a separação da substância útil, a trituração e o apuramento primário. Depois de se proceder ao espessamento, duplica-se a intervenção para apuramento final. Recorre-se, ainda, a mesas inclinadas e estriadas com oscilação, a separadoras eletromagnéticas. Estes concentrados são directamente incorporados, com auxílio de fornos eléctricos, no fabrico de carbureto de tungsténio no estado de pó (WC) ou de ferro-tungsténio (Fe/Tu).” (João Paulo Avelãs Nunes, 2010).

As mesas inclinadas e estriadas mencionadas pelo autor, são as conhecidas mesas vibratórias, utilizadas no tratamento de minérios para a separação gravítica.

Para melhor ilustrar as etapas se seguem ao processo de exploração apresenta-se o fluxograma presente na Figura 3-3:



**Figura 3-3 - Fluxograma de operações**

Fonte: adaptado de Tungsten, British Geological Survey.

### 3.4. Pesquisa e prospeção de tungsténio

Durante as fases de pesquisa recorre-se normalmente a campanhas de sondagens com recuperação de testemunhos que são posteriormente analisados. No caso de jazigos de scheelite, pode ser feita uma análise primordial aos tarolos recuperados nas sondagens com luz ultravioleta, uma vez que uma das características deste mineral é ser fluorescente na presença desta luz. Diz-se que um mineral é fluorescente quando este emite luz visível quando exposta a luz UV, raio-X ou raios catódicos. Se após se cessar o contacto com a fonte de luz o mineral continua a emitir luz, então diz-se que o mineral é fosforescente, (Klein, Dutrow, 2012). Existem cerca de 500 minerais fluorescentes na presença de luz ultravioleta, muitos dos quais não são fluorescentes no estado puro. Partículas e impurezas de em certas quantidades fazem desencadear esta reação, e são por isso denominadas como impurezas ativadoras. Como estas impurezas variam em quantidade e tipologia de local para local, também a fluorescência de um determinado mineral se pode alterar quanto à cor e intensidade de fluorescência. Alguns exemplos de minerais fluorescentes na presença de luz ultravioleta são: a fluorite, aragonite, calcite e a scheelite, (FMS - The Fluorescent Mineral Society, 2013).

Assim sendo, no caso de ocorrência de afloramentos rochosos contendo scheelite recorre-se regularmente a campanhas de sondagem por luz ultravioleta, que consistem num varrimento do terreno com o auxílio desta luz conseguindo assim identificar a presença deste mineral. Essa foi uma das formas de pesquisa no jazigo do caso de estudo, como referido no Estudo Conceptual.

Na Figura 3-4 é demonstrada esta característica deste mineral.

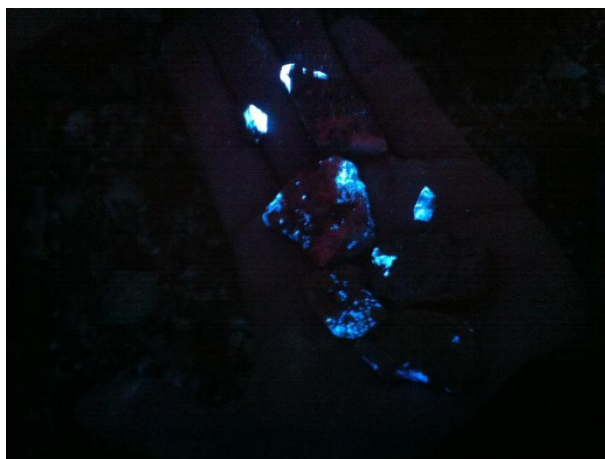


Figura 3-4 - Scheelite vista com luz ultravioleta

### 3.5. Tipologia dos jazigos de tungsténio

No que à tipologia dos jazigos de tungsténio diz respeito, A. Morais Cerveira (1982) afirma que “Parece hoje, fora de dúvida, a estreita ligação dos depósitos de tungsténio com as rochas intrusivas leucocratas (desde os dioritos aos granitos alcalinos) ou em que os seus processos evolutivos, particularmente os tardios – pós-magmáticos – intervieram ou por eles são responsáveis. Em todos eles se verifica proximidade posicional a estes tipos de rochas ou tal se adivinha quando elas não são aflorantes, aspetos que constituem, entre outros, regra diretriz na sua prospeção.”

Os jazigos são assim divididos em quatro grupos:

- Skarns
- Filonianos/brechoides/stockwork;
- Pórfiros graníticos;
- Disseminados/greisen.

Apresenta-se agora na Tabela 3-3 uma breve descrição, características e exemplos dos 4 tipos de jazigos minerais de tungsténio.

**Tabela 3-3 - Caracterização dos jazigos de tungsténio**

Tipo de jazigo	Breve descrição	Características	Exemplos
Skarns	Tabular ou lenticular, predominantemente de shcelite em rochas calco-silicatadas formadas pela substituição dos carbonatos	Apresentam auréolas termais; greisens locais. Podem ser associados a pórfiros de tungsténio e molibdénio	Mactung e Cantung (Canadá), Sang Dong (Koreia do Sul), Mittersill (Áustria)
Filonianos/brechoides/stock-work	Sistemas simples ou complexos de filões de quartzo com volframite nas proximidades de rochas magmáticas em rochas metasedimentares.	Greisenização dos encostos; localmente stock-work e zonas de brechas menores. Múltiplas fases de veios zonados por Sn e Cu	Panasqueira (Portugal), Xihuashan (China), Erzgebirge (Rep. Checa)
Pórfiros graníticos	Filonetes/stock-work de quartzo de baixo teor e disseminações em intrusões subvulcânicas.	Zonamento concêntrico de metais e tipo de alteração. Caracterizado por greisenização penetrativa	Xingluoken e Fujian (China), Northern Dancer (Canadá)
Disseminados/greisen	Greisens de teores baixos formados por fenómenos de metassomatismo nas cúpulas de granito.	Intimamente relacionado com stock-works e filões greisenizados com $W \pm Sn \pm Mo$	Shizhuyuan e Xihuashan (China), Kara-Oba & Lultin (CIS)

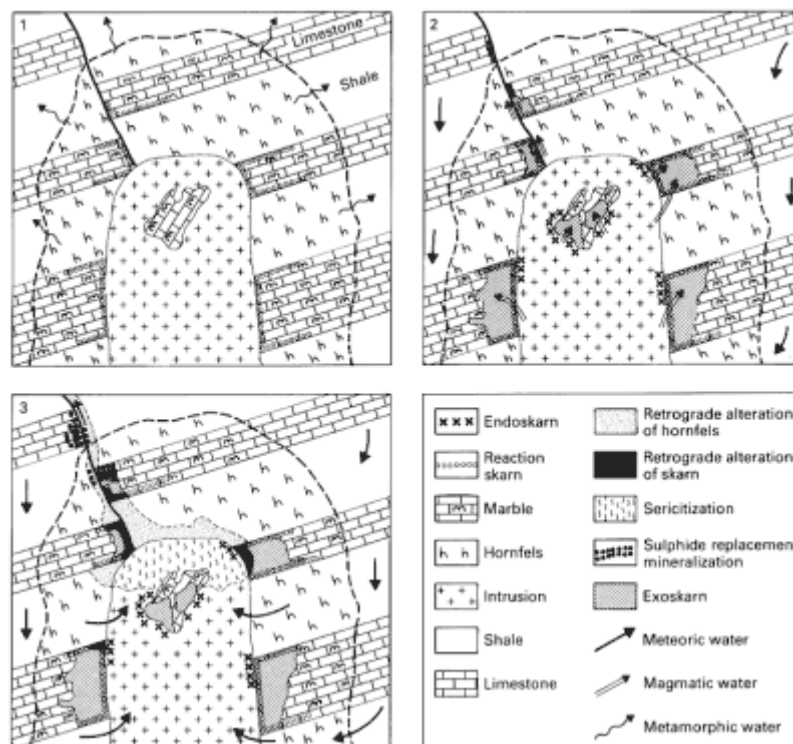
Fonte: adaptado de Tungsten, British Geological Survey.

### 3.6. Skarn como jazigo

De uma forma bastante simplista, a formação dos jazigos do tipo skarn pode ser explicada com base no seguinte texto: ” quando o magma intrude, os sedimentos intrudidos são aquecidos e ocorre metamorfismo de contacto que produz, no caso das rochas carbonatadas, as associações calco-silicatadas



chamadas *skarns* ou tactitos; à medida que o magma cristaliza, os constituintes menores concentram-se no resíduo e alguns difundem para a zona de contacto, substituindo os minerais do encaixante por outros que podem incluir a scheelite.”, (C. M. NOVAIS MADUREIRA, AURORA FUTURO DA SILVA, 1999).



**Figura 3-5 - Esquema de formação de skarns**

Fonte: Virtual Geology<sup>5</sup>

O jazigo em questão é uma formação do tipo skarn estratiforme confinado por xistos. Segundo Lawrence D. Meinert, (1982):

Os jazigos do tipo skarn têm vindo a ser estudados ao longo dos últimos séculos, sendo que muitos desses estudos foram centrados na Suécia e extrapolados para o resto do planeta, com o desenvolvimento de novos jazigos, técnicas e equipamentos.

Os skarns são definidos quanto à sua mineralogia e classificados quanto ao seu conteúdo económico num dado metal. Existem correlações entre o tipo de skarn, a petrologia das intrusões associadas e o ambiente tectónico, (D. Meinert, 1982).

Os depósitos do tipo skarn são uns dos mais abundantes tipos de mineralizações na crosta terrestre e podem ocorrer em rochas de quase todas as idades. O skarn é uma rocha relativamente simples, definida pela mineralogia que é normalmente dominada por minerais calco-silicatos como granadas e piroxenas, (D. Meinert, 1982).

Embora a maioria dos skarns se encontre em litologias que contem pelo menos algum calcário, este tipo de formação pode ocorrer em quase todos os tipos de rochas, durante os fenómenos de metamorfismo regional ou de contacto, e por processos metassomáticos que envolvem fluidos de origem magmática, metamórfica, meteórica e/ou marinha, (D. Meinert, 1982).

<sup>5</sup> Disponível em, <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/Ore-Genesis-Notes/Skarn%20Multielement.htm>, consultado em 09/2014

Sendo por norma encontrados em zonas adjacentes a rochas magmáticas intrusivas, podem também ocorrer ao longo de falhas e zonas de cisalhamento, bem como em sistemas geotermiais, fundo oceânico e em zonas profundas da crosta em terrenos metamórficos, (D. Meinert, 1982).

Assim sendo, não será necessário um plutão ou calcário para a formação de um skarn. A maioria destes depósitos, encontram-se zonados e o padrão de desenvolvimento dos minerais está associado ao gradiente térmico com granadas nas zonas proximais, piroxenas nas zonas distais, e com minerais do tipo wollastonite ( $\text{CaSiO}_3$ ), vesuvianite ( $\text{Ca}_{10}(\text{Mg, Fe})_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OH, F})_4$ ), e sulfuretos na zona de transformação dos calcários em mármore, (D. Meinert, 1982).

O reconhecimento de características, tais como halos de alteração, lixiviação, estruturas de escape de fluidos, pode ser extremamente importante na prospecção, (D. Meinert, 1982).

A presença de mineralizações metálicas em skarns deu origem à constituição de jazigos exploráveis de 7 metais distintos, sendo eles Fe, Au, Cu, Zn, W, Mo e Sn, (D. Meinert, 1982).

## **4. Descrição morfológica e geológica do terreno**

### **4.1. Enquadramento regional:**

A área em estudo, situa-se numa região de relevo bastante acidentado, com cobertura de pinhal e mato. A densidade populacional é média, sendo a agricultura a principal ocupação da população.

Após a sua descoberta, o jazigo foi objeto de um conjunto de trabalhos que incluíram cartografia geológica, prospeção com “mineralight”, luz ultravioleta, amostragem de sedimentos fluviais e de solos, levantamento topográfico, testes geofísicos (de polaridade induzida, resistividade e magnéticos), abertura de trincheiras e sua amostragem, estudos mineralógicos, petrográficos e metalúrgicos e sondagens diamantadas com recuperação de testemunhos.

Posteriormente, com auxílio de programas de Informação Geográfica e Modelação de recursos minerais, foram avaliados os recursos existentes e construído um modelo de blocos para cálculo de reservas e realização do Estudo Conceptual.

A área requerida situa-se na Zona Centro-Ibérica, ao longo da bordadura Norte da extensão granítica Lamego-Escalhão, constituída essencialmente pelos metassedimentos de idade Câmbrica do Complexo Xisto-Grauváquico, que nesta região é dividido em dois conjuntos: o alóctone e o autóctone, ambos pertencentes ao denominado Grupo do Douro (Sousa, 1989).

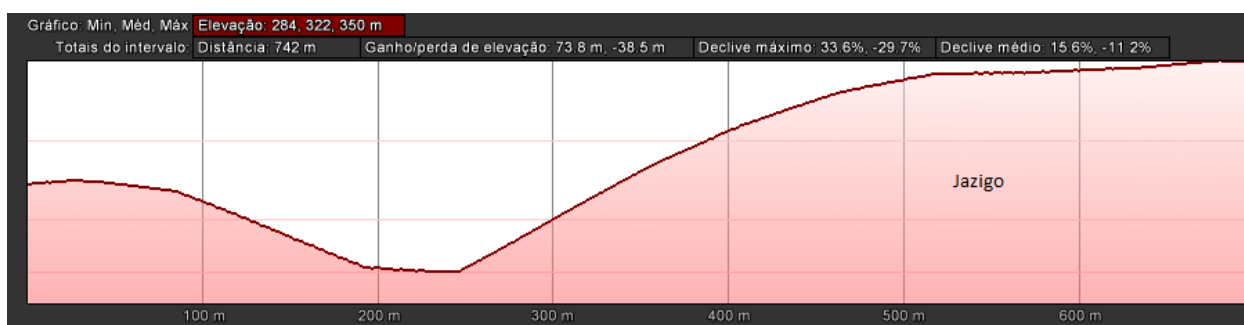
As mineralizações de scheelite, encontram-se presentes no conjunto autóctone, na Formação de Bateiras, que constitui a unidade mais antiga do Grupo do Douro, sendo constituído por intercalações de xistos negros, metagrauvaques e filitos, passando a intercalações de calcários para a parte superior da formação, sendo finalmente recobertos por bancadas espessas de metagrauvaques com intercalações filitosas. São esses calcários e metagrauvaques carbonatados que, sob a acção do metamorfismo de contacto dos granitóides tardios, deram origem aos escarnitos mineralizados com scheelite (Sousa, 1989).

### **4.2. Descrição do terreno**

O jazigo encontra-se situado em flanco de encosta com um declive médio de 35%. A superfície é entalhada por um profundo vale, onde uma linha de água sazonal tem água corrente durante os meses de Inverno. É uma zona não cultivada, ocupada por vegetação arbustiva rasteira, sendo classificada como uma zona de interesse ecológico. Encontram-se algumas habitações a mais de 1.000 m da zona de afloramento do minério.

O acesso a este local faz-se por estradas nacionais e municipais, havendo uma autoestrada a cerca de 10 quilómetros.

Na Figura 4-1 apresenta-se um perfil de elevações do terreno onde se localiza o jazigo mineral.



**Figura 4-1 - Perfil de declive**

Fonte: Google Earth

Uma vez que o declive da encosta implica uma exposição visual reduzida, os impactos visuais de grande amplitude estarão relacionados com o método de mineração adotado. Relativamente aos restantes valores ambientais e culturais, terão que ser equacionados em função das classificações em vigor no Ordenamento Territorial local, não abordados no âmbito do presente trabalho.

No respeitante a aspetos sociais, uma vez que as populações da região estão familiarizadas com a atividade mineira pela proximidade que têm a antigas minas, outrora empregadoras de muitos habitantes, crê-se possível uma aceitação do projeto mediante, contrapartidas a estabelecer.

Hoje em dia todas as empresas mineiras consideram que construir minas deve significar uma melhoria das condições de vida das populações e os primeiros a beneficiar disso devem ser aqueles que vivem nas regiões onde as explorações mineiras estão instaladas. O sucesso das atividades mineiras está associado à aceitação por parte das populações locais, e esse facto é referido no documento Tools for Mining Small Complex Gold Deposits, da Comissão Europeia, que define esta aceitação como “ licença social para a exploração”.

#### 4.3. Descrição Geológica do local

Segundo o Estudo Conceptual, o jazigo consiste em formações do tipo skarn que, conforme o modelo geológico adotado, terão sido dobradas, dando origem a um anticlinal. Estes skarns variam de espessura entre os 2 e os 30 metros e na zona da charneira os corpos sofrem espessamento e encontram-se suficientemente próximos para que possa equacionar-se a sua exploração em termos economicamente rentáveis.

Neste anticlinal, encontram-se duas falhas verticais que dividem o jazigo em três áreas distintas, definidas como parte norte, central e sul. O anticlinal é assimétrico, tendo pendor mais suave a norte e mais acusado a sul.

Na Figura 4-2 apresenta-se um corte do perfil do jazigo por forma a explicitar a descrição do mesmo.

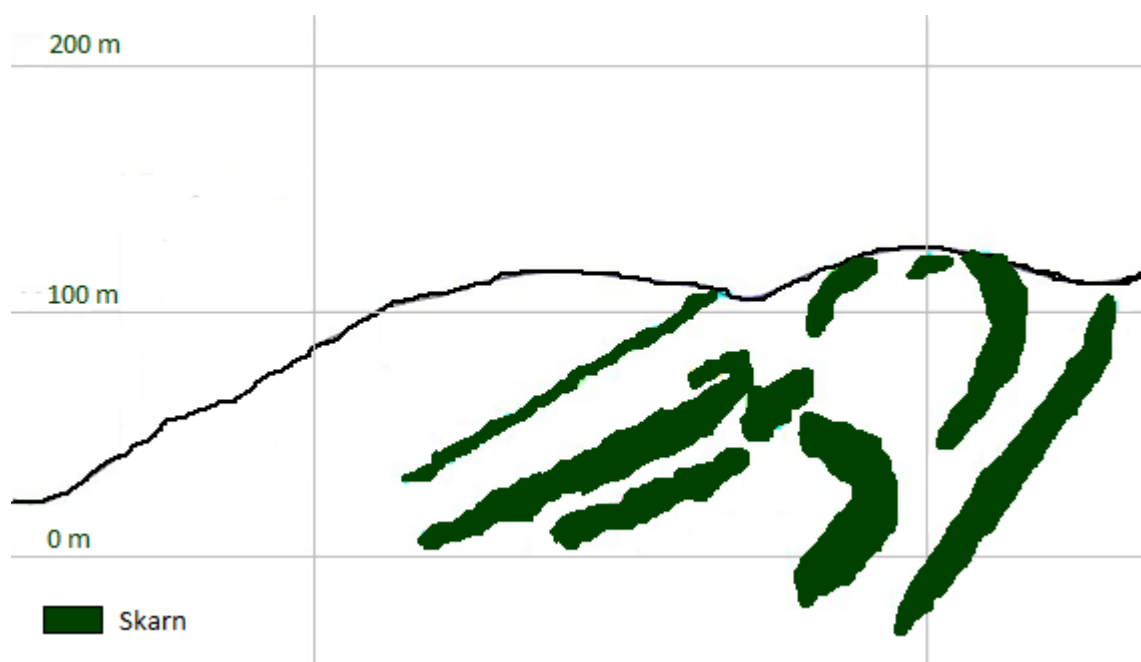


Figura 4-2 - Corte de perfil do jazigo



## 5. Recursos e Reservas

### 5.1. Definições

Para melhor compreender todo o estudo inerente a um jazigo mineral importa expor definições como reserva, recurso, entre outras, segundo a norma europeia, The Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee (PERC), (2009).

**Recurso mineral** caracteriza-se por ser uma concentração ou ocorrência de um determinado mineral na crosta terrestre com interesse económico, sendo plausível pela sua qualidade e quantidade bem como a sua exploração de um ponto de vista económico.

Parâmetros como localização, quantidade, teor, continuidade são estudados para se obter o conhecimento necessário do recurso. O grau de conhecimento do recurso leva à classificação do mesmo em recurso inferido, indicado e medido, dependendo desse mesmo grau.

**Recurso inferido** é um recurso mineral para o qual são conhecidos parâmetros como tonelagem, teores e o seu conteúdo mineral pode ser estimado com um grau de certeza não muito elevado. Estas estimativas são feitas com base em evidências geológicas não confirmadas. Baseia-se portanto no conhecimento adquirido em afloramentos, trincheiras e furos de sondagem em que é limitada a qualidade dos mesmos.

**Recurso demonstrado (indicado)** é por isso, o recurso no qual já se encontra um maior grau de conhecimento do mesmo. Neste caso, parâmetros como tonelagem, densidade, forma, características físicas, teor e conteúdo mineral, podem ser estimados com um grau de certeza razoável, com base em amostragens e testes em locais como afloramentos, trincheiras, ou furos de sondagens. A distância entre as localizações das recolhas dos dados será grande para se poder confirmar a sua continuidade, mas suficientemente aproximada para assumir essa continuidade.

**Reserva mineira** será então a parte economicamente viável de ser explorada de um recurso inferido ou indicado. Esta definição, tem em conta a diluição ou outros parâmetros relativos a perdas que possam ocorrer no material explorado.

Avaliações apropriadas, que podem incluir estudos de viabilidade e têm em consideração modificações em fatores assumidos como metalúrgicos, económicos, de marketing, legais, ambientais, social e governamentais. Essas avaliações têm como objetivo demonstrar se a exploração é razoavelmente justificável.

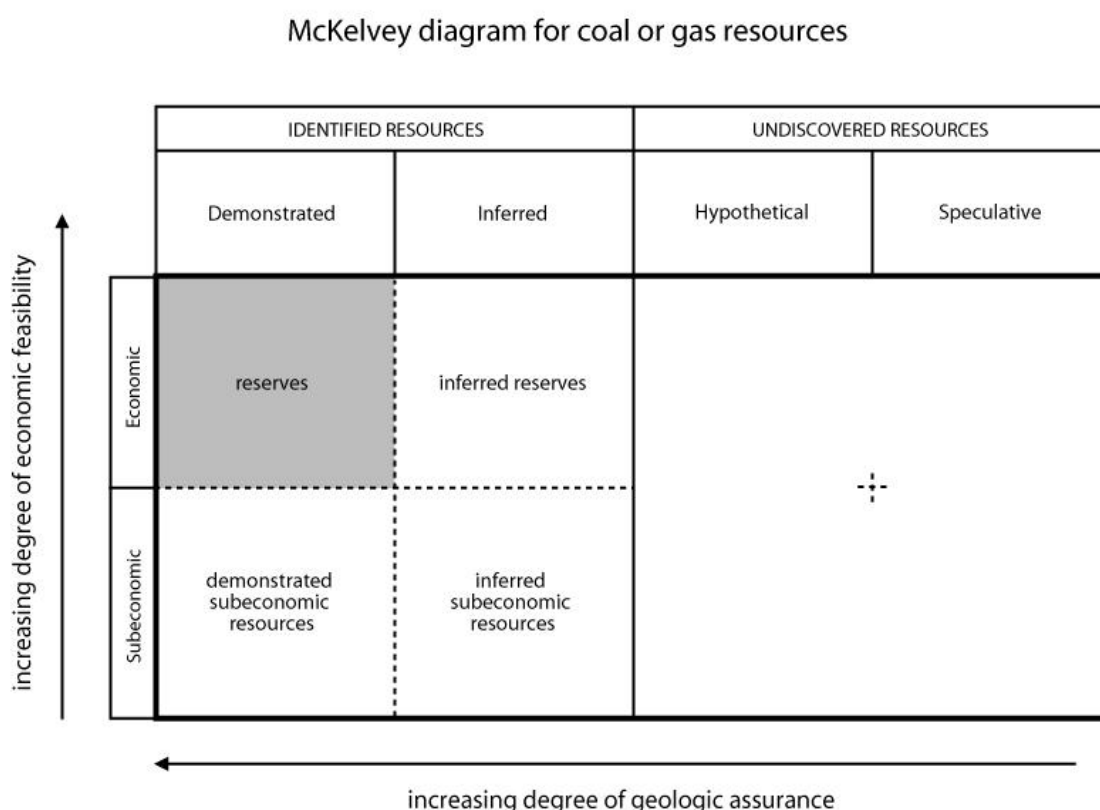
O conceito de reserva mineral encontra-se dividido em reservas prováveis e reservas provadas, à semelhança do conceito de recurso.

**Reserva indicada (provável)** é considerada como a parte economicamente explorável de um reserva indicada, ou mesmo de um recurso medido. Inclui perdas como a diluição entre outras para os materiais

trabalhados. Inclui estudos de viabilidade e tem em consideração modificações em factores assumidos como metalúrgicos, económicos, de marketing, legais, ambientais, social e governamentais. O resultado destes estudos demonstra que a exploração é razoavelmente justificável.

**Reserva medida (provada)** é considerada como a parte economicamente explorável de uma reserva medida. Inclui perdas como a diluição entre outras para os materiais trabalhados. Inclui estudos de viabilidade e tem em consideração modificações em factores assumidos como metalúrgicos, económicos, de marketing, legais, ambientais, social e governamentais. Os resultados destes estudos demonstram que a exploração é justificável.

Para melhor compreender estes conceitos, recorre-se ao diagrama de McKelvey presente na Figura 5-1, que nos permite uma melhor compreensão e localização das definições acima apresentadas.



Based on diagram created by V.E. McKelvey in: McKelvey, V.E. 1972. "Mineral Resource Estimates and Public Policy." American Scientist 60 (1): 32-40.

**Figura 5-1 – Diagrama de McKelvey**

Fonte: Rocky Mountain Institute<sup>6</sup>

Analisando o diagrama, encontra-se no eixo vertical de baixo para cima em ordem crescente, o grau de viabilidade económica, e no eixo horizontal, aumentando da direita para a esquerda o grau de conhecimento geológico. Ou seja, um ponto que se encontre nos recursos não descobertos, tratam-se por hipotéticos ou especulativos. Por outro lado, se um ponto se encontrar nos recursos identificados, estes dividem-se (horizontalmente) em inferidos e demonstrados, em que o grau de certeza geológica aumenta

<sup>6</sup> Disponível em [http://www.rmi.org/RFGGraph-McKelvey\\_diagram\\_for\\_coal\\_gas\\_resources](http://www.rmi.org/RFGGraph-McKelvey_diagram_for_coal_gas_resources), consultado em 05/2014



do primeiro para o segundo. Dividem-se também (verticalmente) em sub-económicos e económicos, e só no caso de os recursos serem economicamente viáveis se passam a chamar reservas.

**Teor de corte** de uma operação mineira, é o teor mínimo abaixo do qual uma operação mineira se torna não viável em termos económicos. Pode ser definido por parâmetros económicos ou parâmetros físicos ou químicos que o definem como produto aceitável ou rendível ( Leite, Machado, 1986).

**Teor médio** é um valor médio de uma concentração química de um elemento ou composto do material de interesse, seja em amostras ou produtos (Leite, Machado, 1986).

**Minério** será o material mineral, mineral alvo mais estéril, que se pretende extrair. Esta definição é restringida em relação à definição de mineral, apenas pela condição de explorabilidade económica, e alargado pela ausência de composição e estruturas definidas (Leite, Machado, 1986).

**Estéril** nos jazigos de minérios não metálicos, é mais corrente a designação de estéril para os minerais explorados, que não são passíveis de ser aproveitados por razões económicas. O que é considerado estéril numa exploração, poderá ser considerado minério numa outra (Seminário em Ciências da Engenharia da Terra/IST 2007).

**Ganga** é o conjunto de minerais que se extrai juntamente com o minério, e que não são alvo de recuperação (Seminário em Ciências da Engenharia da Terra/IST 2007).

## 5.2. Caso de estudo

Neste momento, conhecem-se os recursos identificados do jazigo, pelo que será necessário prosseguir os estudos para determinação das reservas. Na Tabela 5-1 apresentam-se os dados relativos ao conhecimento atual do jazigo em questão.

**Tabela 5-1 – Caso de estudo: Tabela de recursos**

Teor de corte	0,10%	Teor Médio (%WO <sub>3</sub> )
Reservas Medidas (Mt)	-	-
Recursos Indicados (Mt)	2,14	0,37
Recursos Inferidos (Mt)	2,32	0,25
Recursos Não Classificados (Mt)	1,11	0,12
Recursos Totais (Mt)	5,57	0,27

Os presentes valores foram obtidos através de análises laboratoriais ao material recolhido em cerca de 10.000 metros de sondagens, realizadas durante campanhas de prospeção e caracterização litológica e geoquímica do jazigo.

Projetam-se por agora, novas campanhas de prospeção e sondagens na área envolvente aos recursos indicados, na esperança de se conseguir aumentar as reservas do mesmo e tornar a exploração mais atrativa a investimentos por parte das empresas do ramo.

A subida das cotações dos concentrados de tungsténio, lançou uma nova era de pesquisas e trabalhos para reativar e dar início a alguns novos projetos por todo o mundo, tanto de minérios de scheelite como de wolframite, que estavam suspensos desde os anos 80. Esta subida foi imposta pelo facto de a China, principal produtor de tungsténio, ter suspenso a venda dos seus concentrados, deixando os principais

consumidores como os Estados Unidos da América e a Europa com a necessidade de os obter de uma outra forma.

### 5.3. Posicionamento do jazigo em estudo face aos principais jazigos mundiais em termos de teor e tonelagem

O jazigo em questão apresenta valores de teor de corte, teor médio e tonelagem de acordo com a Tabela 5-2:

**Tabela 5-2 – Caso de estudo: Teor de corte, recursos totais, teor médio**

Teor de corte (%)	0,10
Recursos Totais (Mt)	5,57
Teor Médio (% WO <sub>3</sub> )	0,27
WO <sub>3</sub> contidos (T)	15.039.000

O teor de corte de 0,1%, é retirado do EC e encontra-se dentro da mesma ordem de grandeza em comparação com estudos feitos sobre jazigos semelhantes. Importa agora comparar estes valores com valores de outros jazigos mundiais de scheelite, para que seja possível fazer um posicionamento do jazigo a nível económico, face a outros que se encontram em produção ou projetados.

#### *Tabuaço, Armamar, Portugal*

À data presente, existe um projeto de tungsténio da empresa canadiana COLT Resources, que se apresenta na europa com o grupo EUROCOLT Resources, a realizar estudos e pesquisas para o jazigo de Tabuaço em Armamar. Este projeto já apresentou um estudo de avaliação económica preliminar de acordo com as normas portuguesas, apresentando todos os parâmetros legais para a aceitação deste tipo de documento. Os dados oficiais deste estudo estão presentes na Tabela 5-3.

**Tabela 5-3 – Dados oficiais do projeto de Tabuaço**

October 2012 Resource Estimate		
Tonnage (thousand tonnes)	Grade (% WO <sub>3</sub> )	Contained Metal (MTU WO <sub>3</sub> )*
1,495	0.55	815,000
1,230	0.59	720,000

Fonte:Colt Resources<sup>7</sup>

O jazigo em questão utiliza no estudo em causa um teor de corte de 0,3% para os dados presentes na Tabela 5-3.

Este jazigo é importante não só a nível de comparação de recursos, como a nível das problemáticas inerentes à sua exploração. Este jazigo encontra-se na zona do Alto Douro Vinhateiro, estando situado por baixo de vinha e do Convento de São Pedro das Águias, o que deixa como única opção de exploração a

<sup>7</sup> Tabuaço Tungsten Project, <http://www.coltresources.com/en/tabua%C3%A7o>, consultado em 10/2014

lavra subterrânea. As perspetivas da empresa são que em 2017, a mina já se encontre em produção. Na Figura 5-2 é possível ver a área em que se engloba este projeto.



**Figura 5-2 - Zona de concessão do projeto de Tabuaço.**

Fonte: A PRELIMINARY ECONOMIC ASSESSMENT ON THE TABUAÇO TUNGSTEN PROJECT, PORTUGAL

Os problemas do impacto visual e ambiental, serão largamente contornados por se optar por trabalhar em lavra subterrânea através do método de *drift and fill*, uma variante do corte e enchimento (*cut and fill*), assim acredita a empresa. Embora os estudos de impacto ambiental ainda não tenham sido apresentados, a empresa está confiante que conseguirá o licenciamento para a exploração até ao final de 2015, (SRK Consulting (UK) Limited, 2013). O LNEG, afirma que a empresa pretende com este projeto conseguir um exemplo e abrir novas portas para o “*green mining*”, numa zona paradigmática.

#### *Los Santos, Salamanca, Espanha*

Na vizinha Espanha encontra-se a mina de Los Santos, Salamanca, mina esta que se encontra em produção desde 2008. Encontra-se a laborar pelas mãos da empresa Almonty Industries desde setembro 2011.

É uma mina a céu aberto que explora skarns de scheelite à semelhança do depósito em questão neste trabalho. Conjuntamente aos trabalhos de exploração seguem-se trabalhos de pesquisa que resultaram em mais de 5000 metros de sondagens até 2012, que conseguiram aumentar as reservas em 10% levando assim a um acréscimo de oito anos à vida útil da mina. Os trabalhos de pesquisa continuam a decorrer. Na Tabela 5-4 apresentam-se os dados relativos ao jazigo em questão.

Tabela 5-4 – Tabela de dados oficiais do projeto de Los Santos

	<b>Tonnes (000's)</b>	<b>WO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>WO<sub>3</sub> (Tonnes)</b>
<b>Stockpiles Mineral Reserves</b>	<b>66</b>	<b>0.25</b>	<b>164</b>
<b>Tailings Mineral Reserves</b>	<b>1,932</b>	<b>0.16</b>	<b>3,105</b>
Proven	357	0.45	1,618
Probable	1,523	0.38	5,791
<b>Proven + Probable Mineral Reserves</b>	<b>1,880</b>	<b>0.39</b>	<b>7,409</b>
<b>Total Mineral Reserves</b>	<b>3,873</b>	<b>0.28</b>	<b>10,678</b>
Measured	434	0.40	1,735
Indicated	2,326	0.31	7,139
<b>Measured + Indicated Mineral Resources</b>	<b>2,760</b>	<b>0.32</b>	<b>8,874</b>
<b>Inferred Mineral Resources</b>	<b>1,527</b>	<b>0.24</b>	<b>3,648</b>

Fonte: Los Santos Project<sup>8</sup>

Os valores de teores de corte para os recursos provados e prováveis são de 0,07% para o céu aberto, 0,04% para os rejeitos, e 0,3% para os trabalhos subterrâneos. Para os recursos medidos e indicados o teor de corte é de 0,05%.

A empresa em questão, entrou em acordo para a aquisição de 51% (até ao momento) de outra mina situada a 250 km da mina de Los Santos, que dá pelo nome de Mina Valtreixal e se situa no noroeste de Espanha. Este projeto pretende explorar minérios de estanho e tungsténio. A mina, foi sujeita a uma campanha de sondagens e a uma exploração experimental por parte da empresa Sociedad De Investigacion Y Exploracion Minera De Castilla Leon S.A. (“SIEMCALSA”), que resultou num cálculo de reservas, mas que não se adequa às normas utilizadas pela empresa canadiana. A intenção da empresa é debruçar-se sobre esta mina, logo que a otimização da mina de Los Santos esteja concluída, (Los Santos Project, 2012)

<sup>8</sup> Los Santos Project, [http://www.almonty.com/projects/los\\_santos/](http://www.almonty.com/projects/los_santos/), consultado em 05/2014





**Figura 5-3 - Mapa com localização dos projetos da Almonty Industries**

Fonte: Almonty Industries,<sup>9</sup>

#### *Barruecopardo, Salamanca, Espanha*

Ainda na vizinha Espanha encontra-se o jazigo de Barruecopardo situado em Salamanca, propriedade da empresa Ormonde Mining, e que até ao início da década de 80 foi a maior mina de tungsténio de Espanha. Localizada perto de Salamanca esta mina era constituída por vários céus abertos de pouca profundidade até se converter numa só mina. A razão pela qual isto acontecia explica-se pelo facto de a mineralização se dispersar numa grande área através de filões de quartzo, centrando essas explorações em torno dos ditos filões, as quais não ultrapassavam os 30 metros de profundidade. Estas pequenas explorações converteram-se numa exploração a céu aberto principal que ia até um máximo de 80 metros de profundidade com paredes semi-verticais, nas quais poucas vezes se realizavam patamares de segurança. O acesso à base da exploração era feito por uma rampa de acesso e a evacuação do material, tanto minério como estéril, era feita, apenas após ambos os materiais passarem por uma moagem, por telas transportadoras através de uma galeria.

A falta de segurança na mina e a utilização de métodos pouco seletivos, ditaram o fim desta exploração em 1982. Em 2012 a empresa Ormonde Mining entregou todos os documentos para iniciar a exploração deste couto mineiro.

<sup>9</sup> Almonty Industries, <http://almonty.com/projects/>, consultado em 05/2014



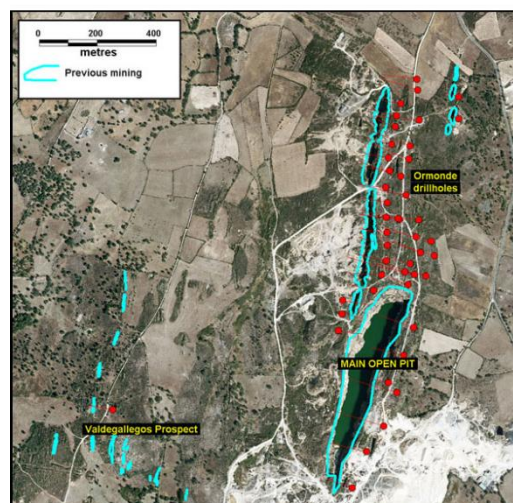
**Figura 5-4 Localização do projeto de Barruecopardo**

Fonte: Barruecopardo Project



**Figura 5-5 - Pequena mina de exploração em Barruecopardo**

Fonte: Barruecopardo Project



**Figura 5-6 - Céu aberto principal e localização de furos de sondagem**

Fonte: Barruecopardo Project

Os seus recursos apresentam-se na Tabela 5-5 da seguinte forma:

**Tabela 5-4 – Dados oficiais do projeto de Barruecopardo**

Classification	Tonnes (million)	Grade (WO <sub>3</sub> %)	Contained mtus (WO <sub>3</sub> )
Measured	5.47	0.34	1.86 million
Indicated	12.33	0.26	3.20 million
Inferred	9.59	0.23	2.20 million
GLOBAL	27.39	0.26	7.12 million

Fonte: Barruecopardo Tungsten Project<sup>10</sup>

Neste caso não foi possível determinar o teor de corte utilizado para o cálculo dos valores apresentados.

#### *King Island, Tasmânia, Austrália*

Outro jazigo de scheelite que importa abordar, por ser da mesma ordem de grandeza, é o King Island Scheelite Project, na Tasmânia, Austrália, composto por três jazigos, Dolphin, Bold Head e Tailings, que no seu conjunto, totalizam 9,109 milhões de toneladas. O projeto de Dolphin em causa envolve a reabertura da mina subterrânea de Dolphin que laborou até 1975 a céu aberto e que posteriormente passou a subterrâneo até fechar em 1990, devido à baixa nas cotações. O mesmo se passou com Bold Head e o projeto passa por reativar também esta exploração. É ainda sugerido o reaproveitamento dos estéreis e rejeitos das antigas explorações. Na Figura 5-3 apresenta-se um mapa com a localização do projeto em questão.



**Figura 5-7 - Localização de King Island Scheelite Project**

Fonte: King Island Scheelite Project

<sup>10</sup>

Barruecopardo Tungsten Project, [http://www.ormondmining.com/en/projects/barruecopardo\\_tungsten\\_project/summary\\_btp](http://www.ormondmining.com/en/projects/barruecopardo_tungsten_project/summary_btp), consultado em 05/2014

Os recursos desta exploração estão demonstrados na Tabela 5-6:

**Tabela 5-5 - Dados oficiais para o projeto de King Island**

Resource			
	Tonnes (000)	WO <sub>3</sub> %	WO <sub>3</sub> Tonnes
<b>Dolphin</b>	0.70% WO <sub>3</sub> cut off		
Indicated	4,752,000	1.29	61,300
Inferred	7,000	0.73	50
Total	4,759,000	1.29	61,350
<b>Bold Head</b>	0.50% WO <sub>3</sub> cut off		
Indicated	1,500,000	0.93	13,950
Inferred	150,000	1.22	1,830
Total	1,650,000	0.96	15,780
<b>Tailings</b>	0.08% WO <sub>3</sub> cut off		
Measured	2,700,000	0.17	4,590
<b>Total</b>	<b>9,109,000</b>	<b>0.90</b>	<b>81,720</b>

Fonte: King Island Scheelite<sup>11</sup>

Importa referir que os teores de corte para Dolphin e Bold Head são respetivamente 0,7% e 0,5% que são teores de corte bastante elevados face aos apresentados até aqui. Já para o jazigo Tailings, o teor de corte é de 0,08% mais próximo dos restantes jazigos, (King Island Scheelite, s.d.)

#### *Kilba, Austrália*

Ainda na Austrália, encontra-se o jazigo de Kilba adquirido recentemente pela empresa Tungsten Mining NL, que pretende iniciar a produção até ao final de 2014. A exploração será a céu aberto e o seu modelo encontra-se em otimização por parte da empresa. Diversas campanhas de sondagens, foram realizadas para aferir os recursos totais do projeto, e a empresa acredita que o jazigo poderá ser ainda maior, continuando assim os trabalhos de pesquisa através de sondagens e trincheiras com recolha do material para posterior análise.

<sup>11</sup> King Island Scheelite, disponível em <http://www.kingislandscheelite.com.au/dolphin-project>, consultado em 06/2014.



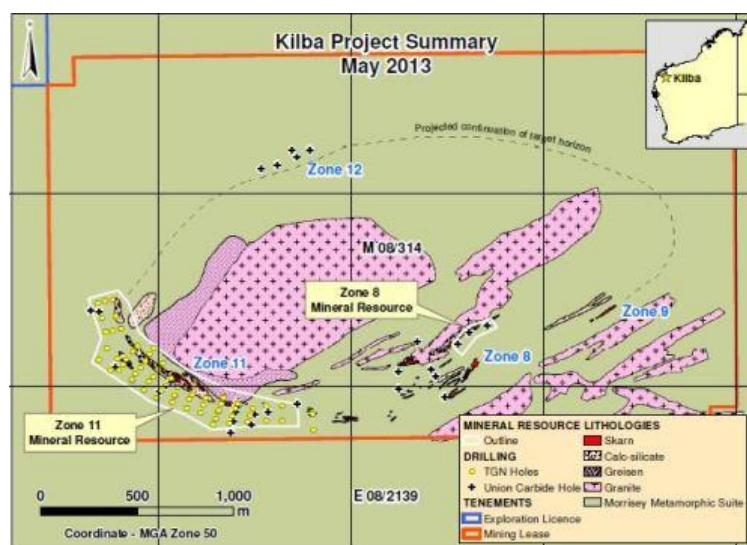


Figura 5-8 - Mapa da geologia e furos de sondagens no jazigo de Kilba

Fonte: Resources Roadhouse<sup>12</sup>

A Tabela 5-7 apresenta os seguintes valores relativos à Mina de Kilba:

Tabela 5-6 - Dados oficiais do projeto de Kilba

Zone	Category	Tonnes '000 t	WO <sub>3</sub> %	WO <sub>3</sub> t
8	Inferred	230	0.56	1,300
	<b>Total</b>	<b>230</b>	<b>0.56</b>	<b>1,300</b>
11	Indicated	1,300	0.30	4,000
	Inferred	3,500	0.24	8,500
	<b>Total</b>	<b>4,800</b>	<b>0.26</b>	<b>13,000</b>
<b>Total</b>	Indicated	1,300	0.30	4,000
	Inferred	3,700	0.26	9,800
	<b>Total</b>	<b>5,000</b>	<b>0.27</b>	<b>14,000</b>

Fonte: TGN Scoping Study June 2013.

Este projeto, tem uma vida útil esperada de 7 anos para os valores acima apresentados, que, embora não seja divulgado o teor de corte utilizado no cálculo dos mesmos, já noutro capítulo do documento consultado relativo a este projeto é apontado um teor de corte de 0,1% para a exploração a céu aberto, (TGN Scoping Study, 2013)

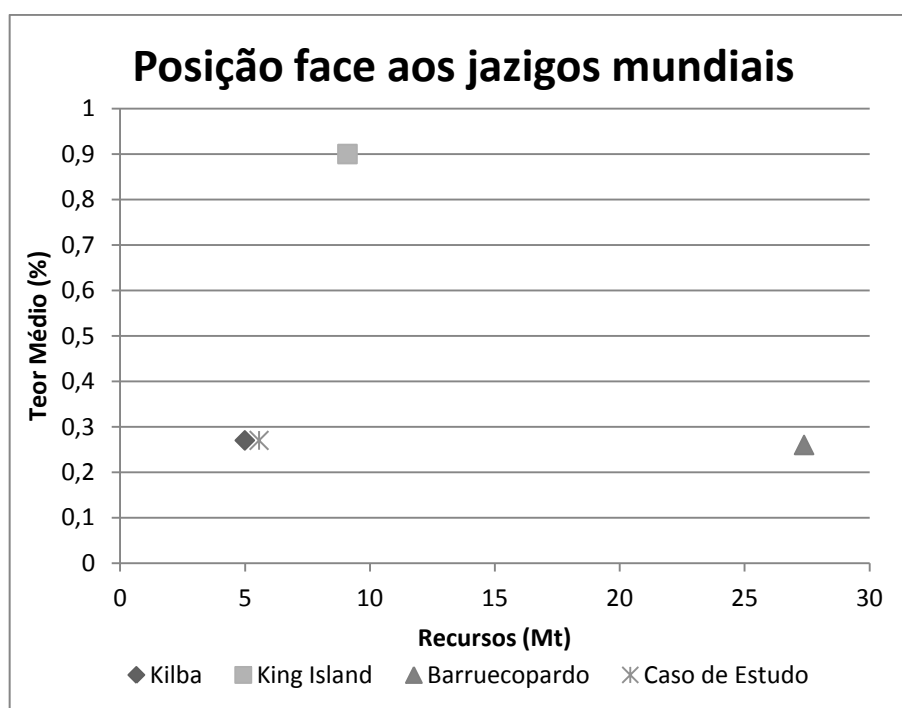
<sup>12</sup> Resources Roadhouse, [http://www.resourcesroadhouse.com.au/blog/Resources\\_Roadhouse/post/tungsten-mining-releases-maiden-kilba-project-resource/](http://www.resourcesroadhouse.com.au/blog/Resources_Roadhouse/post/tungsten-mining-releases-maiden-kilba-project-resource/), consultado em 09/2014

Após a observação de todos estes valores dos vários jazigos minerais, apresenta-se agora a Tabela 5-8 limitando os dados a recursos totais e teor médio  $WO_3$ .

**Tabela 5-8 - Recursos totais e teor médio  $WO_3$**

Jazigo	Recursos Totais (Mt)	Teor Médio (% $WO_3$ )
Barruecopardo	27,39	0,26
Kilba	5,000	0,27
King Island	9,109	0,9
Los Santos	-	-
Caso de estudo	5,57	0,27

Assim sendo, pode-se agora confrontá-los graficamente, na Figura 5-9 para uma breve comparação dos jazigos minerais apresentados a nível de teor médio e recursos totais.



**Figura 5-9 - Gráfico dispersão de teores médios versus recursos**

Com esta confrontação pode-se verificar que os jazigos utilizados para comparação, estão na mesma ordem de grandeza no que a teores e recursos diz respeito, excetuando Barruecopardo e King Island. Destaca-se o facto de o jazigo de Barruecopardo ter um maior número de recursos, embora com um teor semelhante e, por isso prevê-se um maior tempo de vida para este projeto. Destaca-se também o teor elevado de King Island que por combinar os três pequenos jazigos consegue aumentar os seus recursos.

Importa referir que esta comparação tem como alvo, projetos mineiros de média a pequena envergadura traduzindo-se isso num tempo de vida útil menor.

Existem ainda os grandes jazigos mundiais que se encontram numa escala não comparável com os projetos acima abordados, e que se apresentam na Tabela 5-9 como sendo os três maiores jazigos à data de 1998.

**Tabela 5-9 - Principais jazigos mundiais.**

Principais Jazigos	País	Tipo de Jazigo	Tungsténio metal Estimado (kT)
Verkhne-Kayrakti	Cazaquistão	Filão/stock-work	872
MacTung	Canadá	Skarn	617
Shizhuyuan	China	Pórfiro Granítico	502

Fonte: Adaptado de Tungsten British Geological Survey, Janeiro 2011.



## 6. Requisitos Legais e suas limitações

### 6.1. Enquadramento legal – Lei Geral

A necessidade de produção e distribuição de recursos geológicos que se sente nos dias de hoje, os elevados consumos ditados pelo aumento do nível de vida, as reservas disponíveis limitadas e a atribuição ao poder político de uma responsabilidade de gestão adequada destes recursos obrigou o Estado a estabelecer um regime jurídico, ainda que geral nesta matéria. Exemplo disso, é o Decreto-Lei 90/90 de 16 de Março, que veio regular a revelação e aproveitamento dos referidos recursos geológicos. Para o caso em estudo importa apenas realçar as regras estabelecidas para os depósitos minerais integrados no domínio público do Estado, artigo 1º n.º 1 e 2 a) do D.L. 90/90.

No que diz respeito aos depósitos minerais o supra referido diploma estabelece a seguinte definição: *“todas as ocorrências minerais existentes em território nacional e nos fundos marinhos da zona económica exclusiva que, pela sua raridade, alto valor específico ou importância na aplicação em processos industriais das substâncias nelas contidas, se apresentam com especial interesse para a economia nacional”*. Sendo os depósitos minerais recursos de domínio público só podem ser constituídos sobre eles, através de contrato reduzido a escrito, dois tipos de direitos: direito de prospeção e pesquisa – definido no artigo 9º n.º 1 a) - e direito de exploração – definido no artigo 9º n.º 1 b).

Como contrapartida dos direitos sobre os recursos geológicos a lei estabelece normas de proteção para um adequado e proporcional aproveitamento, dos quais se destacam a necessidade de aproveitamento racional dos recursos e manutenção da sua capacidade de renovação, de preferência preventivamente, artigo 12º n.º 1 e 2 c) e d).

#### 6.1.1. Direito de prospeção e pesquisa

O direito de prospeção só incidirá sobre áreas reservadas se não se verificar qualquer incompatibilidade nas atividades de exploração proveniente de concessões já outorgadas, artigo 13º n.º 3

O contrato que concede o direito de prospeção e pesquisa tem de mencionar os direitos e obrigações recíprocos, a área e a respetiva localização, o prazo inicial, o programa de trabalhos e o plano de investimento, artigo 14º. No exercício do direito de prospeção e pesquisa incidem sobre os seus agentes as seguintes obrigações perante o estado: a) iniciar os trabalhos no prazo de três meses a contar da celebração do contrato, salvo se outro prazo neste for convencionado; b) executar os trabalhos de acordo com o programa aprovado; c) indemnizar terceiros por todos os danos que lhes forem diretamente causados em virtude das atividades de prospeção e pesquisa e executar as medidas de segurança prescritas, mesmo que aquelas tenham já cessado, artigo 16º. No caso dos depósitos minerais o período de vigência do contrato não pode exceder cinco anos, incluindo prorrogações, salvo quando devidamente

justificadas, artigo 18º. No artigo 20º estão previstas taxativamente as seguintes formas de extinção: caducidade; acordo entre as partes; rescisão declarada pelo Estado, sempre que se verifique o não cumprimento das obrigações legais ou contratuais e rescisão declarada pela outra parte, quando, com base nos trabalhos já executados, faça prova, técnica ou económica, perante a entidade competente da inviabilidade prática da revelação de recursos na área abrangida.

### **6.1.2. Direito de exploração**

Com a celebração do contrato de prospeção o Estado tem de garantir o direito de obter a concessão de exploração de recursos revelados desde que estejam reunidas todas as condições legais para o fazer. Independentemente da existência prévia de prospeção e pesquisa, podem ser atribuídos direitos de exploração através de requerimento por parte dos interessados, ou ainda por convite formulado pelo Estado, contudo existe a condição de preferência à apresentação de uma proposta de maior valorização dos recursos a explorar, artigo 15º c) e 21º n.º 1.

No contrato de concessão de exploração, terão de constar, para além dos direitos e obrigações de ambas as partes, parâmetros como a área abrangida, o prazo, as condições exigidas para eventuais prorrogações e as condições específicas de cada caso, artigo 22º nº1. No caso de os recursos aferidos até então não reunirem as condições necessárias para o início de uma exploração normal, poderá ser cedido um período de exploração experimental, mediante a celebração de um contrato. Neste caso serão estabelecidos no contrato o prazo e restantes condicionalismos e subsequentes estudos complementares, artigos 22º nº3 e nº4.

No exercício do direito de exploração, incidem sobre os seus agentes as seguintes obrigações perante o Estado: a) iniciar os trabalhos indispensáveis à exploração, no prazo de três meses a contar da celebração do contrato, salvo se outro prazo neste for convencionado; b) manter a exploração em estado constante de laboração, a menos que a suspensão de atividade tenha sido prévia e devidamente autorizada; c) indemnizar terceiros por todos os danos que lhes forem causados pela exploração; d) cumprir com as normas de higiene e segurança no trabalho, bem como proteção ambiental aplicáveis mesmo após a extinção da concessão; e) fazer o aproveitamento dos recursos segundo normas técnicas adequadas e em harmonia com interesse público do melhor aproveitamento desses bens; f) explorar sempre que possível, os recursos do domínio público que sejam revelados na área demarcada com reconhecido valor económico e desde que se verifique compatibilidade de exploração; g) apresentar com a periodicidade que lhes for fixada pela entidade concedente, elementos de informação relativos ao conhecimento do recurso, devendo esta fundamentar a periodicidade referida; h) tratando-se de exploração de depósitos minerais, não fazer lavra ambiciosa, comprometendo o melhor aproveitamento económico dos recursos, artigo 24º.

Segundo o artigo 36º, poderá o Governo mediante um decreto regulamentar, definir áreas de reserva para o aproveitamento de recursos geológicos de especial interesse para a economia nacional ou regional, com vista a impedir ou minorar efeitos prejudiciais para a sua exploração.

Importa também referenciar o artigo 38º, que classifica áreas como zonas de defesa, nas quais fica vedada a exploração de massas minerais em zonas de terreno que circundem edifícios, obras, instalações, monumentos, acidentes naturais, áreas ou locais classificados de interesse científico ou paisagístico, dentro dos limites que legalmente sejam definidos.

## **6.2. Depósitos minerais – Regime jurídico próprio**

O Governo além do regime jurídico geral da revelação e aproveitamento dos recursos geológicos, complementou com um diploma específico, a matéria relativa aos depósitos minerais, prevista e regulada no Decreto-Lei nº 88/90, de 16 de Março.

O referido diploma, pretende desenvolver os princípios orientadores das atividades de prospeção, pesquisa e exploração dos depósitos minerais para um aproveitamento racional e valorização dos mesmos.

Desde logo, nos termos do artigo 3º do Decreto-Lei 88/90 são considerados depósitos minerais, todos os recursos que preencham os requisitos constantes do artigo 2º nº 1 do Decreto-Lei 90/90, e já referidos anteriormente, como sejam: raridade; alto valor específico; importância na aplicação em processos industriais, e que se consubstanciem em ocorrências, de interesse económico, nomeadamente de substâncias minerais utilizáveis na obtenção de metais nelas contidos, de substâncias radioativas, carvões, grafites, pirites, fosfatos, amianto, talco, caulino, diatomite, barite, quartzo, feldspato, pedras preciosas e semipreciosas, sal-gema e sais de potássio.

### **6.2.1. Direito de prospeção e pesquisa**

O processo de atribuição dos direitos de prospeção e pesquisa, é constituído por várias fases. Numa primeira fase é necessária a apresentação de proposta à Direcção-Geral pelo interessado. A referida proposta deve conter os seguintes elementos: a) indicação das substâncias minerais que se pretende que fiquem abrangidas; b) identificação da área pretendida; c) plano geral dos trabalhos a executar, fundamentado no conhecimento geológico da área; d) volume do investimento previsto e o seu financiamento; e) elementos comprovativos de que o requerente dispõe de idoneidade e capacidade técnica e financeira. Para efeitos do artigo 13º n.º 4 do Decreto-Lei 90/90 a melhor proposta de realização da atividade de prospeção e pesquisa será aquela que contemplar os critérios b), c) e d) acima referidos. Segue-se a audição do requerente nos termos do n.º 2 do artigo 5º do Decreto-Lei 88/90. Numa outra fase, se não existirem motivos para o indeferimento da proposta apresentada - no caso de a Direcção-Geral considerar que não estão garantidas as condições mínimas de viabilidade do projeto ou da sua conveniente execução, ou por razões de interesse público, de acordo com o artigo 5º - o requerente é notificado para prestar caução provisória através de garantia bancária ou qualquer outro meio idóneo, tal como estabelece o artigo 60º do diploma em análise. Com a prestação de caução pretende-se que o requerente se vincule, ao exercício efetivo do direito de prospeção e pesquisa que está a solicitar e nos termos acordados. Logo após a prestação de caução pelo requerente, a Direcção-Geral, publica aviso no Diário da República, num jornal da zona onde se localiza a área pretendida e em dois jornais de grande tiragem do Porto e Lisboa, tornando assim publica a proposta apresentada e permitindo a apresentação de reclamações de todos os interessados. Findo o prazo de 30 dias para apresentação das referidas reclamações a Direcção-Geral tem 90 dias para submeter à apreciação e decisão do Ministro competente a proposta apresentada, anexando o seu parecer sobre a mesma. Em alternativa ao processo anteriormente exposto, o Ministro pode, sob sugestão da Direcção-Geral e independentemente da apresentação de proposta de qualquer interessado, abrir concurso público convidando à entrega de propostas de atividades de prospeção e pesquisa, tal como estabelecido no artigo 7º do Decreto-lei 88/90.

Por último surge adjudicação de uma das propostas apresentadas e a consequente atribuição do direito de prospeção e pesquisa ao requerente. A referida adjudicação é feita mediante contrato administrativo

escrito que deverá conter as menções prevista no artigo 8º do diploma em estudo. O contrato celebrado está sujeito a publicidade no Diário da República, nos termos do n.º 4 do artigo 8º. Além das obrigações do artigo 16º do Decreto-Lei 90/90, e já referidas em ponto anterior, o titular do direito de prospeção está, igualmente obrigado a: a) submeter à Direcção-Geral os programas e relatórios do progresso dos trabalhos, de acordo com os prazos e especificações por esta estabelecidos ou previstos no respetivo contrato, e comunicar-lhe prontamente todos os factos relevantes para o conhecimento geológico da área abrangida, nomeadamente a descoberta de qualquer ocorrência mineral, ainda que de substância fora do objeto do contrato, que, todavia, possa contribuir para esse conhecimento; b) conservar devidamente os testemunhos de sondagens e entregá-los, adequadamente acondicionados e classificados, à Direcção-Geral no termo da vigência do contrato, salvo se deste resultar uma concessão de exploração, caso em que os testemunhos passarão à guarda do concessionário; c) contabilizar as despesas em escrita apropriada, por forma a permitir a correta apreciação dos investimentos realizados e d) cumprir as instruções que lhe forem transmitidas pela Direcção-Geral no âmbito do contrato, artigo 10º.

### 6.2.2. Direito de exploração

Para a obtenção do direito de exploração sobre área abrangida por contrato de prospeção e pesquisa é necessário que o interessado apresente requerimento na Direcção-Geral onde constem todos os elementos adequados para a sua apreciação, como sejam: a) identificação da empresa, pessoa singular ou coletiva constituída ou a constituir, com indicação da respetiva sede e capital social, a favor da qual é requerida a concessão; b) localização da área demarcada, com indicação da respetiva freguesia, município e distrito; c) indicação da delimitação proposta para a área pretendida; d) caracterização sucinta do depósito mineral e e) indicação do responsável pela futura direção técnica da exploração, artigo 16º n.º 1.

A lei no direito de exploração, é ainda mais exigente que no direito de prospeção, exigindo a apresentação dos seguintes documentos: certidão do ato constitutivo da entidade para a qual é requerida a concessão, ou o seu projeto, no caso de ainda se não encontrar constituída, bem como, sendo caso disso, a relação dos sócios e corpos gerentes, com indicação do capital social subscrito e realizado ou forma prevista para a sua realização; termo de responsabilidade do diretor técnico proposto; relatório pormenorizado com a descrição do depósito mineral e peças desenhadas necessárias à sua boa interpretação; planta topográfica, à escala 1: 10 000, reportada a dois marcos geodésicos, com a implantação dos trabalhos realizados e demarcação pretendida; plano de lavra com a descrição das instalações mineralúrgicas e das medidas de antipoluição e de recuperação de terrenos a adotar, quando for caso disso, estudo de pré-viabilidade da exploração e quaisquer outros elementos necessários para a apreciação do pedido, nos termos do artigo 16º n.º 2 do Decreto-Lei 88/90. Tal como no direito de prospeção e pesquisa a Direcção-Geral está vinculada a uma obrigação de publicidade do requerimento para obtenção de concessão de exploração, de acordo com o n.º 3 do artigo 16º. Após submissão do referido requerimento ao Ministro competente e do parecer da Direcção-Geral, é celebrado o contrato administrativo para a concessão da exploração, que pode prever um período de exploração experimental, nos termos do artigo 22º n.º 3 do Decreto-Lei 90/90 e 88/90. Os trâmites da celebração do contrato administrativo no âmbito da exploração, são idênticos ao contrato de prospeção e pesquisa, pelo que se remete para artigo 21º do Decreto-Lei 88/90.

De acordo com o artigo 27º na execução da atividade de exploração o concessionário deverá guiar-se por um plano de lavra, aprovado *a priori* pela Direcção-Geral. Tal plano deve contemplar: a) a memória descritiva sobre as características do depósito mineral; b) a descrição pormenorizada dos processos de



desmante e domínio dos tetos, no caso de lavra subterrânea; c) a descrição do sistema de transporte; d) a descrição do sistema de ventilação; e) a descrição do sistema de iluminação; f) a descrição do sistema de esgotos; g) a descrição dos sistemas de sinalização e segurança; h) a descrição dos processos mineralúrgicos; i) o esquema das fontes de energia e de abastecimento de água; j) a descrição das instalações auxiliares da exploração e k) quando for caso disso, a descrição das medidas adotadas para prevenir a poluição do meio ambiente e assegurar a recuperação paisagística e dos terrenos. O concessionário está ainda adstrito à elaboração, e consequente submissão para aprovação da Direcção-Geral, de um programa de trabalhos, no qual estejam qualificados os investimentos previstos e se assinala a produção estimada para o período em vista, nos termos do artigo 28º. O silêncio por parte da Direcção-Geral em relação ao programa de trabalhos, vale como aceitação e aprovação, tácita, do mesmo. De realçar que a exploração exige uma direcção técnica liderada por pessoa idónea que possua diploma comprovativo de curso de ensino superior. A Direcção-Geral pode exigir a formação no ramo de Engenheiro de Minas, no caso de exploração de grande importância ou complexidade técnica, tal como dispõe o artigo 29º.

### **6.2.3. Protecção do ambiente e recuperação paisagística**

Quer nos direitos de prospeção e pesquisa, quer na concessão de exploração, há uma obrigação de tomar as diligências necessárias e adequadas para garantir o mínimo de impacto ambiental. De entre tais diligências destacam-se no artigo 54º: a utilização de maquinaria de perfuração adequada, com sistemas de recolha automática de poeiras ou injeção de água para impedir a propagação das mesmas; a minimização de formação de poeiras dentro e nos acessos à exploração com sistemas adequados; nos casos em que o normal abastecimento de água seja posto em causa pela exploração, a empresa em questão tem de garantir o normal abastecimento de água tanto em qualidade como em quantidade; comunicação à Direcção-Geral de achados arqueológicos durante os trabalhos; nas explorações a céu aberto, tem de ser armazenado o solo de cobertura, para posterior reconstituição dos terrenos e da flora, de acordo com o previsto no nº5 do artigo 12º de Decreto-Lei nº90/90, de 16 de março. Nos casos em que não seja possível a implantação do anterior solo de cobertura, deveram ser repostas, dentro do possível, todas as características primitivas. Poderá ainda a Direcção-Geral impor medidas especiais para a protecção do ambiente como, barreiras antirruídos, cortinas arbóreas e tratamentos especiais de efluente. Ficam sujeitas a estudos de impacte ambiental, todas as explorações com área superior a 5 hectares ou uma produção anual superior a 150 00 toneladas.

No respeitante à recuperação paisagística, o artigo 55º, define que, a construção das instalações deverá ser, o mais possível, adaptada à paisagem envolvente; e que no final da exploração, a reconstituição dos terrenos deve ser feita para a utilização segundo as finalidades a que estes se destinavam, caso não tenha sido aprovado outro plano pelas entidades competentes.

### **6.2.4. Disposições diversas**

Ao requerente de direitos de prospeção e pesquisa ou de exploração ou a um candidato num convite de atribuição desses direitos, segundo o artigo 60º, será exigido o pagamento de uma caução provisória que poderá ser prestada por qualquer meio idóneo, como por exemplo uma garantia bancária ou um seguro-caução. Esta caução, garante ao Estado a disposição do requerente ou candidato de se vincular ao

exercício que se habilita. Assim, será cobrada pelo estado quando a entidade interessada se recusar a aceitar os direitos e obrigações que venham a ser acordados. A recusa, poderá também ser entendida sempre que por sua culpa o processo se mantenha sem andamento durante um prazo superior a 60 dias. A caução provisória será restituída ao requerente, assim que se verifique a atribuição de direitos em causa.

No artigo 61º referente à caução definitiva: ao requerente de direitos de prospeção e pesquisa ou de exploração, será exigido o pagamento de uma caução definitiva que poderá ser prestada por qualquer meio idóneo como por exemplo uma garantia bancária ou um seguro-caução. A caução referida, funcionará como uma garantia do total cumprimento por parte do titular de direitos, nos termos da lei ou do respetivo contrato, e pelas coimas que lhe venham a ser aplicadas, pelas indemnizações que tiver de pagar e pelos trabalhos aos quais estaria obrigado e não realizou. A caução será reposta na sua integridade no prazo de 30 dias.

No caso de insuficiência da caução definitiva, o titular será obrigado no prazo de 60 dias ao pagamento de uma caução fixada pela Direção-Geral como garantia do cumprimento da obrigação de execução de medidas, pagamento de coimas ou compensação de danos.

Pelos atos previsto no Decreto-Lei 88/90, será devido o pagamento de taxas a fixar por portaria conjunta dos Ministros das Finanças e da Industria e Energia, como é definido no artigo 66º.

### **6.3. Reserva Ecologia Nacional – Regime jurídico próprio**

O facto de o depósito mineral se encontrar inserido numa zona classificada como reserva ecológica nacional (REN), poderá levantar alguns constrangimentos legais. Para estas reservas existe um regime jurídico próprio previsto no Decreto-Lei nº180/2006. Neste Diploma estão previstas as explorações mineiras, bem como a abertura de novas explorações. Assim sendo, a autorização para a abertura de novas explorações pode ser concedida desde que cumpra os seguintes requisitos:

- Estar prevista e regulamentada no plano municipal de ordenamento do território;
- Seja provada a insistência de localizações viáveis à exploração, fora da REN;
- Justificada necessidade de exploração;
- Caso não esteja sujeita a avaliação de impacto ambiental pela lei, deve a exploração ser acompanhado por um estudo de incidências ambientais cujo conteúdo é definido por membros do governo das áreas do ambiente e economia;
- Medidas de compensação ambiental, durante a exploração e no final da mesma;
- Seja reconhecido pela autarquia como investimento de interesse público municipal.

Neste sentido, a abertura de novas explorações tem de respeitar escrupulosamente os requisitos legais para a sua futura realização

## 7. Métodos de Desmonte

Neste trabalho serão abordadas três opções para o desmonte do minério para que, segundo uma análise comparativa dos respetivos parâmetros técnicos e económicos, seja possível a comparação das vantagens e desvantagens de um projeto de exploração.

As opções que neste documento se encontram em discussão, têm por base os dados retirados do Estudo Conceptual. Foram consideradas as alternativas de desmonte a céu aberto, de desmonte a céu aberto complementada por desmonte subterrâneo, e unicamente de desmonte subterrâneo. Esta última, não se encontra tão desenvolvida no Estudo Conceptual, pelo que neste trabalho, foram avançados alguns dados, que resultaram de profícuas conversas com a equipa técnica envolvida no projeto e com os docentes ligados à orientação deste trabalho.

### 7.1. Desmonte a céu aberto

Para a caracterização do desmonte a céu aberto foi consultado o manual “Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto”:

“Nas explorações a céu aberto a dimensão dos degraus deve garantir a execução das manobras com segurança, obedecendo às seguintes condições:

A altura dos degraus não deve ultrapassar 15 m, mas na configuração final, antes de se iniciarem os trabalhos de recuperação paisagística, esta não deve ultrapassar os 10 m;

Na base de cada degrau deve existir um patamar, com, pelo menos, 2 m de largura, para permitir, com segurança, a execução dos trabalhos e a circulação dos trabalhadores, não podendo na configuração final esta largura ser inferior a 3 m, tendo em vista os trabalhos de recuperação;

Os trabalhos de arranque num degrau só devem ser retomados depois de retirados os escombros provenientes do arranque anterior, de forma a deixar limpos os pisos que os servem;

Relação entre o porte da máquina de carregamento e a altura da frente não inferior a 1.

Sendo a exploração a céu aberto feita, na sua grande maioria, por degraus, é necessário a existência, de acordo com a lei em vigor, de um plano de trabalhos contendo os seguintes elementos:

altura das frentes de desmonte (degraus);

largura das bases dos degraus;

diagramas de fogo, caso existam;

situação das máquinas de desmonte em relação à frente e as condições da sua deslocação;

condições de circulação das máquinas de carregamento, perfuração e transporte;

condições de circulação dos trabalhadores;

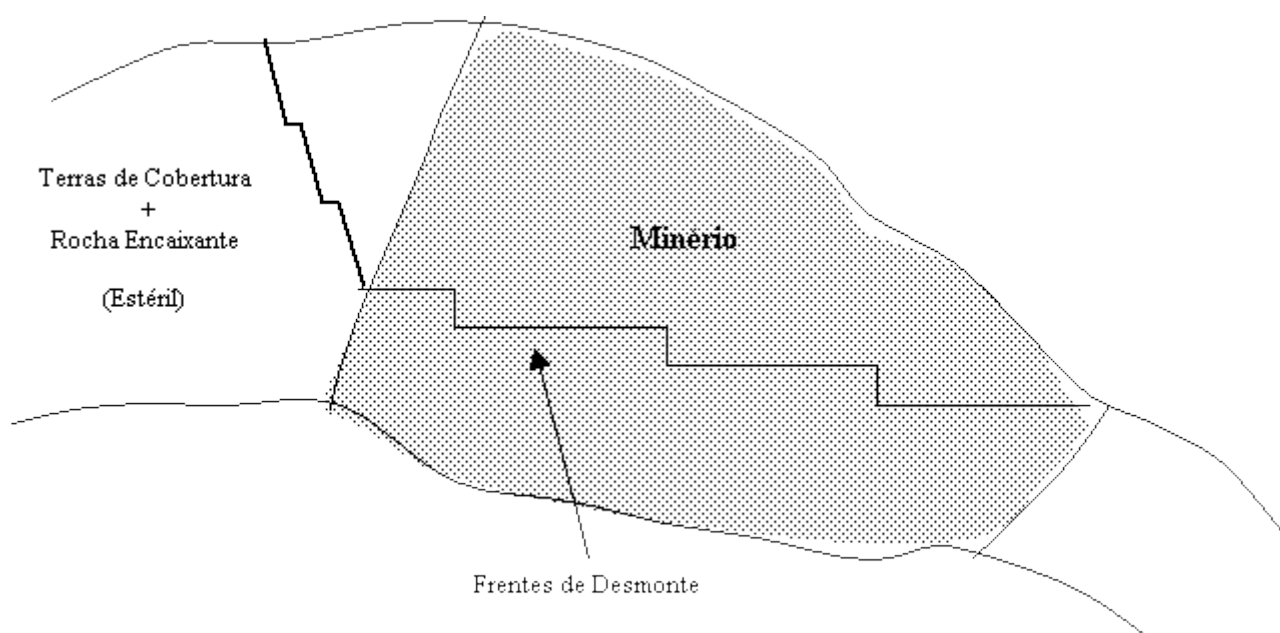
configuração da escavação durante os trabalhos e no final dos mesmos, devendo-se ter em conta a estabilidade das frentes e taludes;

e local de deposição de eventuais escombros e terras de cobertura, área e forma a ocupar por estes.

Os métodos de desmonte a céu aberto podem ser:

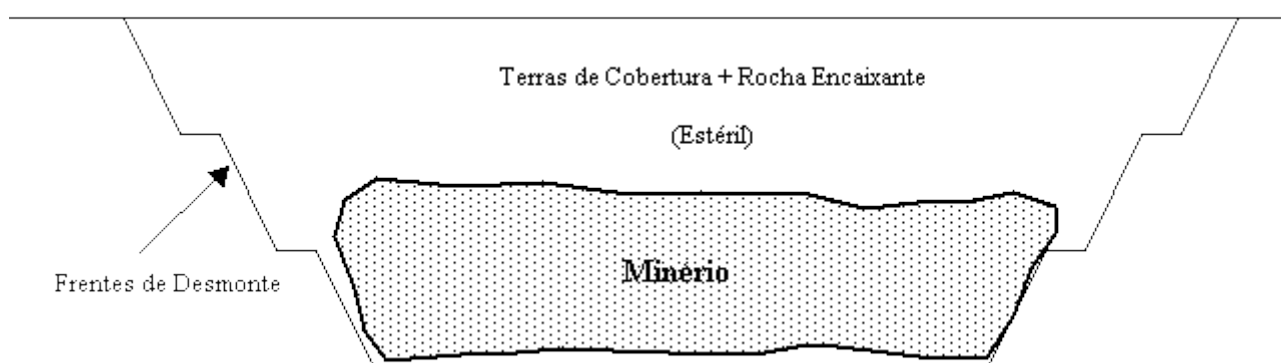
flanco de encosta;

corta (abaixo da superfície).



**Figura 7-1 - Típico Desmonte em Flanco de Encosta**

Fonte: Instituto Geológico e Mineiro (1999).



**Figura 7-2 - Típico Desmonte em Corta**

Fonte: Instituto Geológico e Mineiro (1999).

O método de desmonte está essencialmente dependente das características da exploração, pelo que o método usado para explorações de rocha ornamental será completamente diferente do usado em explorações de rochas industriais.” (Instituto Geológico e Mineiro, 1999).

Para a opção de desmonte a céu aberto, será necessário enveredar pela opção de exploração em flanco de encosta, tendo em conta a localização do jazigo. Será necessário recorrer à desmatagem e decapagem do terreno antes de se iniciarem os trabalhos com recurso a explosivos. Será também necessário a criação de acessos às diferentes frentes de trabalho para movimentação de máquinas e remoção do material.

Por ser um método pouco seletivo, o volume de estéril é bastante elevado, face à quantidade de minério extraído.

## 7.2. Desmonte a céu aberto e subterrâneo

Como segunda opção para esta exploração encontra-se uma hipótese que concilia uma exploração a céu aberto, para a primeira fase, e para uma segunda fase em desmonte subterrâneo.

Numa primeira fase seria realizado um desmonte a céu aberto que possibilitaria a recuperação do minério mais aflorante. Durante esta primeira fase seriam já criadas as infraestruturas para possibilitar o início da segunda fase de exploração, de acordo com o método de lavra subterrânea escolhido. A segunda fase teria então como objetivo, a exploração do minério que se encontra mais profundo, evitando assim a necessidade de aprofundar uma grande exploração a céu aberto. Como a seletividade nos métodos de desmonte subterrâneo é muito mais elevada do que nos métodos a céu aberto, seria possível diminuir o volume a desmontar, e consequentemente, a depositar em escombreira, bem como o impacto visual.

O método de desmonte seria o de corte e enchimento (cut and fill). A escolha do método foi apontada como uma das mais indicadas pelo Estudo Conceptual, e escolhida neste trabalho por possibilitar a reintegração do material estéril para enchimento e pela sua elevada seletividade.

Este método, é usualmente utilizado em camadas mergulhantes e depósitos metálicos de *hard rock*, especialmente aqueles com fracas condições do solo. É por norma utilizado em direção ascendente, explorando em níveis horizontais. Contudo, o processo de exploração, pode também ser feito em direção descendente, em que o enchimento se colocará no teto a cada desenvolvimento. É um método com uma grande seletividade, onde corpos minerais irregulares podem ser explorados, de maneira a que o minério de teor elevado possa ser removido deixando no solo o minério de baixo teor ou estéril. A grande característica deste método é que as cavidades abertas pela exploração, são preenchidas por uma mistura de cimento. Este enchimento, vai suportar as paredes dos espaços abertos pela exploração, assim como providenciar uma nova plataforma de trabalho ou o teto desse mesmo espaço. O material de enchimento usa por norma, estéril e rejeitos do processamento do minério, misturado com cimento para lhe conferir mais resistência, (STEVENS, Robert, 2012).



**Figura 7-3 - Mistura de cimento e rejeitos para bombagem**

Fonte: Tailiings.Info

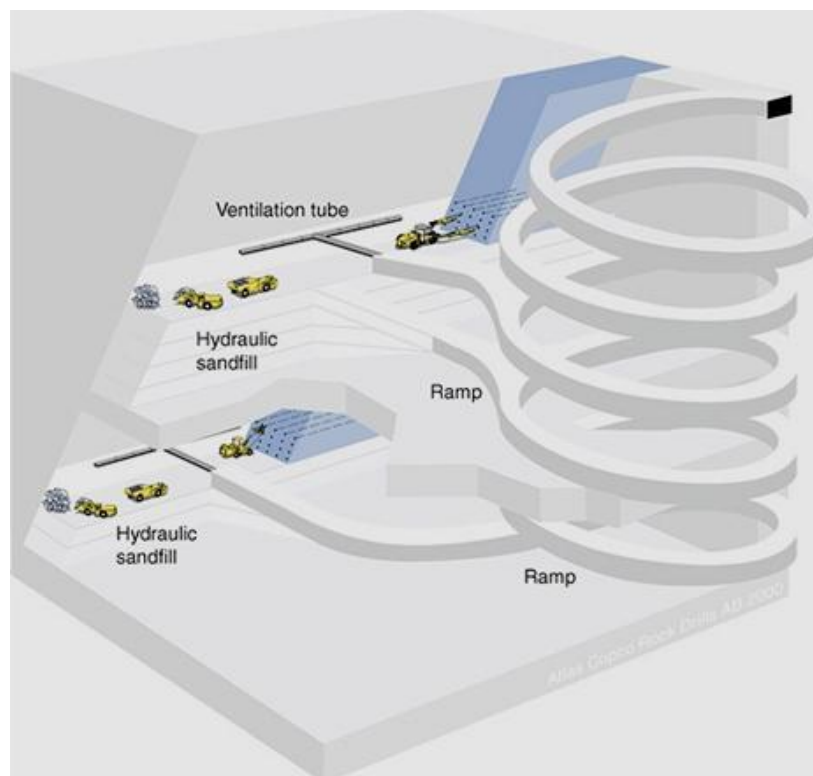
O enchimento é bombeado na forma de lama desde a superfície até à frente de trabalho. Existe à superfície uma central de bombagem onde o material de enchimento é preparado e homogeneizado, para posteriormente ser bombeado até as frentes de enchimento. Esta estação de bombagem é por norma colocada à superfície para que o transporte possa ser feito em grande parte graviticamente. No interior da mina é necessário a criação de caleiras de escoamento gravítico, para que seja possível escoar a água resultante da decantação das polpas, e de todos os afluxos que ocorrem naturalmente numa exploração subterrânea. No final do projeto estas instalações são desmanteladas e removidas, (STEVENS, Robert, 2012).



**Figura 7-4 - Estação de bombagem de Lisheen Mine, Irlanda**

Fonte: Tailings.Info

Alternativamente, pode ser usado material de enchimento sólido que será transportado e acumulado nas cavidades. Este método é muito flexível possibilitando que se realizem trabalhos em simultâneo, como furação e desmonte numa frente de trabalho, enquanto se realizam trabalhos de enchimento noutra nível da mina, (STEVENS, Robert, 2012).



**Figura 7-5 - Corte e enchimento (cut and fill)**

Fonte: Atlas Copco

Ainda nos trabalhos em lavra subterrânea, importa referir um outro método de trabalho que pode ser utilizado neste tipo de desmonte para trabalhos não horizontais, como para a abertura de poços verticais, tanto de ventilação como de escoamento de material, que é o Raiseboring. Este método pode ainda ser utilizado em casos extremos como no salvamento de mineiros encurralados, como foi o caso do salvamento dos 33 mineiros presos num abrigo subterrâneo da mina San José em 2010.

Este método, possibilita a realização de poços e chaminés até 1000 metros com diâmetros entre 0,6 a 6 metros, com velocidades consideráveis. Para este tipo de trabalhos o raiseboring aparece como uma opção plausível pela diminuição de tempo, custos e pessoal. Apresentam-se ainda vantagens no que diz respeito a taxas de avanço face aos métodos convencionais, menor distúrbio da estrutura geológica, custo operacional mais baixo e uma maior segurança nos trabalhos realizados, (Atlas Copco, s.d.).



**Figura 7-6 - Bilhete enviado pelos mineiros encurralados**

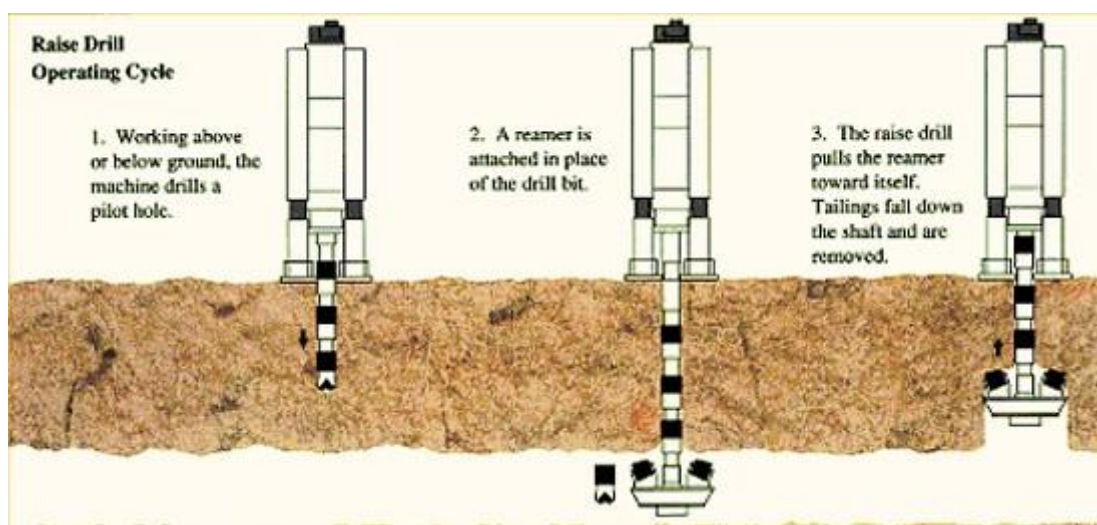
Fonte: EL UNIVERSAL



O método de Raiseboring pode ser em Raise Drilling ou em Boxhole Drilling. O método de raise drilling, que é o mais utilizado, requer a existência de acessos ao final do poço que se pretende abrir. O método consiste em três fases essenciais:

- Furo piloto – trabalhando na superfície ou em subterrâneo, consiste na perfuração de um furo piloto, efetuado de cima para baixo, com diâmetros entre 230 mm a 445mm
- Troca do bit por reamer – a segunda fase consiste em substituir o bit de perfuração pelo reamer, que é a peça que vai alargar o furo piloto e que trabalha de baixo para cima. Para se realizar esta troca é necessário a existência de acesso ao local
- Raise drilling – como o próprio nome indica, é nesta fase, com o reamer (alargador) acoplado na perfurador, que se inicia o desmonte no sentido ascendente, caindo o material na galeria de base.

Este método é muitas vezes utilizado para criar ligações em diferentes níveis da mina.



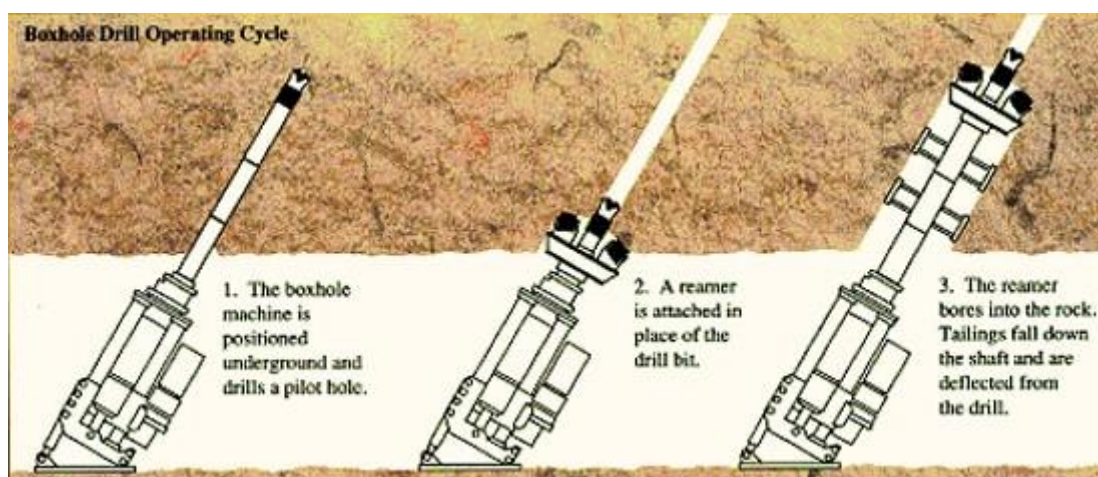
**Figura 7-7 - Diferentes fases de trabalho de Raise Drilling**

Fonte: Atlas Copco

O método de Boxhole Drilling é uma variante do método anteriormente apresentado e é também um método de desmonte ascendente mas que se inicia em níveis subterrâneos. É por norma utilizado em poços subverticais para evitar a queda de materiais em cima da maquinaria de perfuração. Enquanto na vertente de Raise Drill se efetua um furo piloto de cima para baixo e o alargamento do furo de baixo para cima, esta vertente apenas trabalha de baixo para cima. Posicionada num nível subterrâneo inferior o método apresenta as seguintes fases:

- Furo piloto – Inicia-se a perfuração de um furo piloto no sentido ascendente
- Troca de bit por reamer – Neste método é necessário recolher o bit até ao nível inicial para ser substituído pelo reamer (alargador)
- Alargamento do furo piloto – Após a colocação do alargador realiza-se nova perfuração guiada pelo furo piloto para se conseguir o diâmetro necessário.





**Figura 7-8 – Diferentes fases de trabalho de Boxhole Drilling**

Fonte: Atlas Copco

Esta vertente é utilizada quando não existe a possibilidade de acesso ao final do furo piloto para efetuar a troca do bit pelo reamer.

Em suma, este tipo de desmonte apresenta vantagens tanto a nível temporal como a nível da sua versatilidade, pois consegue velocidades de perfuração bem mais elevadas do que os restantes métodos, que recorrem a explosivos, conseguindo também uma ampla gama de diâmetros de perfuração. Os custos deste equipamento, são também mais atrativos, pois mediante a subcontratação de empresas especializadas, deixa de ser necessário a aquisição de todo o material, (Atlas Copco, s.d.).

### 7.3. Desmonte subterrâneo

Para esta última opção perspetiva-se uma exploração totalmente subterrânea o que possibilita uma elevada seletividade, mas que por outro lado impedirá o desmonte da zona aflorante e sub-aflorante do jazigo. Tanto por motivos geotécnicos, de manutenção de um maciço rochoso de proteção a teto das operações de desmonte subterrâneo, como por minimização do impacto visual e ambiental da superfície do terreno, com esta opção a parte superficial do jazigo não será explorada.

O método de desmonte utilizado será o corte e enchimento (cut and fill), pelas diversas vantagens que apresenta. Este método possibilita uma grande seletividade e a possibilidade do estéril do tratamento e do desmonte, poder ser incorporado como enchimento, (STEVENS, Robert, 2012).

Também nesta opção é equacionado a utilização de métodos de raiseboring para a criação de poços e chaminés para ventilação suplementar e transporte gravítico de material

### 7.4. Escombreiras

Em todas as opções acima apresentadas é equacionada de uma forma ou de outra a problemática das escombreiras, que terão de ser construídas em flanco de encosta ou depositadas numa área próxima ao local da exploração. Segundo o manual Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto (1999), a construção de escombreiras em terrenos inclinados é o caso mais comum mas carece de estudos prévios. Parâmetros técnicos, económicos, ambientais e socioeconómicos devem ser exaustivamente analisados: ”

Entre os critérios específicos mais importantes encontram-se os limites da área mineralizada, a distância de transporte desde a exploração até à escombreira, que afecta o custo total da operação, a capacidade de armazenamento necessária, que vem imposta pelo volume total de estéril a transportar, e as alterações potenciais que podem produzir-se sobre o meio natural e as restrições ecológicas existentes na área onde a escombreira é realizada”, (LNEG, 1999).

As escombreiras podem ser divididas como interiores ou exteriores, dizendo respeito respetivamente a escombreiras no interior do vazio criado pela exploração, ou se estas se encontram em terrenos nas imediações dos terrenos explorados. Assim sendo destacam-se agora os pontos fulcrais para a escolha da localização de uma escombreira:

“Por conseguinte, a selecção da área de implantação de uma escombreira obedece a um número de objectivos, sendo a destacar os seguintes:

- minimizar os custos de remoção;
- obter a integração e restauração da estrutura, no final da exploração;
- garantir a drenagem;
- minimizar a área afectada;
- evitar a alteração e impacto em habitats e espécies protegidas”

(Instituto Geológico e Mineiro, 1999).

No local identificado como possível local para a implantação da escombreira é necessário levar a cabo estudos verificar se o local é o apropriado. Nestes estudos encontram-se: investigações de campo que permitam afirmar, que a deposição da escombreira não inviabilizará nenhum recurso no subsolo potencialmente explorável no futuro; estudos quanto às características geotécnicas dos materiais que serviram de base à escombreira, (Instituto Geológico e Mineiro, 1999).

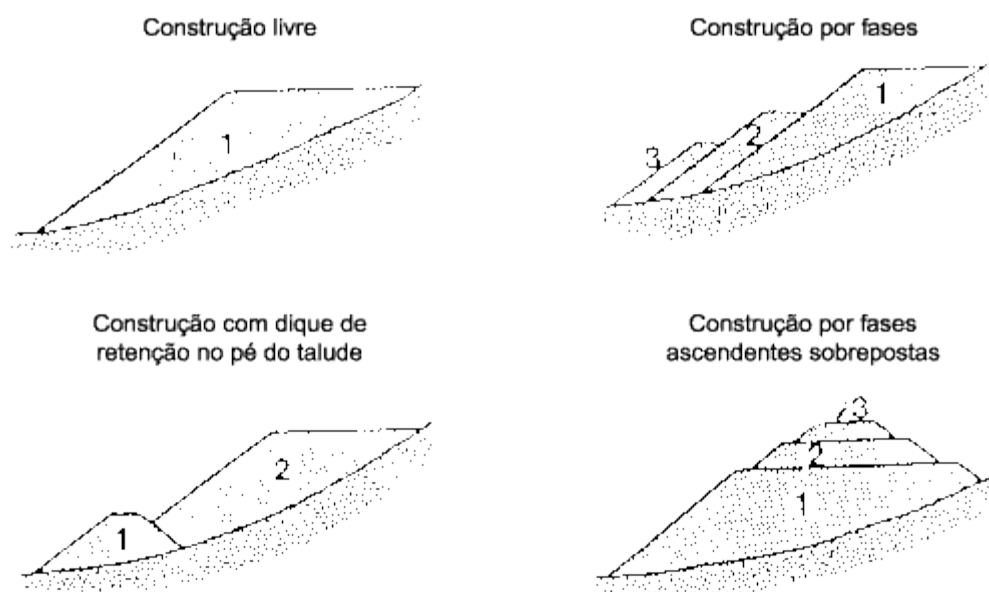
A dimensão e forma das escombreiras serão ditadas por parâmetros como, topografia do local, quantidade de material a depositar, bem como de parâmetros económicos, custo de extração, transporte, etc.

“Atendendo às formas naturais do terreno e às condições normais de exploração, o tipo de escombreiras mais frequentes são as exteriores, sendo a destacar os seguintes tipos: em vale; em flanco de encosta; em altura.”, Instituto Geológico e Mineiro (1999).

Os métodos e sistemas de construção, presentes neste documento apenas referem a construção em terrenos inclinado/flanco de encosta e são descritos da seguinte forma:

“De acordo com a sequência de construção, em terrenos inclinados (o caso mais comum), os tipos de escombreiras que se podem distinguir são quatro:

- livre;
- por fases;
- com dique de retenção no pé do talude;
- por fases ascendentes sobrepostas.



**7-9 - Tipos de Escombreiras segundo a sequência de construção**

Fonte: Instituto Geológico e Mineiro

A formação livre só é aconselhável em escombreiras de pequenas dimensões e quando não existe o perigo de derrocada de blocos. Caracteriza-se por apresentar um talude coincidente com a inclinação máxima que permita a estabilidade dos taludes, e por apresentar uma acentuada separação granulométrica do estéril ou acumulação de blocos no sopé. Este método, embora seja o mais utilizado até à data, apresenta-se como o mais desfavorável do ponto de vista geotécnico.

As escombreiras por fases proporcionam fatores de segurança mais elevados, uma vez que os taludes finais são mais baixos. A altura total pode estar limitada por fatores associados ao acesso aos níveis inferiores.

Quando os estéréis não são homogêneos e apresentam diferentes litologias e características geotécnicas, pode ser conveniente a construção de um dique no pé do talude com o estéril de maior dimensão e resistência, de modo a que actuem como obstáculo ao escorregamento do restante material depositado.

O tipo de construção por fases ascendentes sobrepostas, confere uma maior estabilidade, uma vez que se diminuem os taludes finais e se obtém uma maior compactação dos materiais.

Por tudo isto constata-se que a sequência de construção de uma escombreira incide diretamente sobre a estabilidade das referidas estruturas e sobre a economia da operação, sendo necessário na maioria dos casos chegar a uma solução de compromisso entre ambos os fatores.”, Instituto Geológico e Mineiro (1999).

Para o presente caso de estudo, devido à elevada inclinação do terreno, equacionou-se a construção de muros de suporte como medida suplementar de sustimento das escombreiras, e que mais à frente será apresentado um pequeno estudo para cada uma das opções apresentadas. Como referido pelo Instituto Geológico e Mineiro, a sua construção deve ser em fases ascendentes e sobrepostas para permitir uma maior consolidação dos materiais.



## 8. Análise das opções apresentadas

Após definidas as opções para exploração do jazigo, importa agora realizar uma análise a diversos parâmetros das diferentes opções, tendo em vista uma melhor compreensão das mesmas. Valores como teores de corte, teores médios, tonelagem de rocha a desmontar, tonelagem de estéril e minério, são valores obtidos da análise feita ao Estudo Conceptual, feito por uma consultora internacional. Esse estudo é apresentado sob a forma de análises de sensibilidade que têm por base o valor de mercado do minério e o teor de corte.

O facto de a zona em questão se encontrar numa área de interesse ecológico e nas proximidades de uma zona histórica, são agravantes tidas em conta na análise que a seguir se apresenta. De notar, que o projeto foi desenvolvido para a produção do minério tal qual trazido até à boca da mina ou eventualmente britado não entrando assim, em análises relativas ao processamento do minério.

### 8.1. Análise 1ª Opção

Analizando a primeira opção, que se trata de um desmonte a céu aberto em bancadas com recurso a explosivos, com um teor de corte de 0,1%, verifica-se numa primeira apreciação que este método leva a um desmonte com um rácio estéril/minério de quase 5/1. No que ao teor de corte diz respeito, no caso de estudo foi definido como 0,1%, através da análise do EC complementada por alguns estudos que utilizam um teor de corte igual, para o cálculo de recursos e também para alguns projetos de exploração a céu aberto. Nestes destacam-se o projeto de Kilba, apresentado no capítulo 5, assim como Cookes Creek Tungsten, da empresa Hazelwood Resources Ltd<sup>13</sup>, que também apresenta os recursos calculados com base num teor de corte de 0,1% e no qual também é proposta a exploração a céu aberto. Nesta justificação pode também ser referido o caso da mina de Los Santos, que para o cálculo dos recursos a explorar a céu aberto, utiliza um teor de corte de 0,07% não muito distante do em causa no caso de estudo.

Para esta opção será desmontado um total de 8,22 milhões de toneladas, sendo que apenas 1,39 milhões de toneladas são minério, resultando isto numa massa de estéril de 6,83 milhões de toneladas, o que corresponde a cerca de 83% do material desmontado. Será necessária a determinação do local da escombreira, para que se possam depositar os materiais inertes, de preferência num local próximo. Duas opções podem ser consideradas, a deposição em encosta ou em fundo de vale/depressão natural. Visto a localização do projeto ser em flanco de encosta, seria necessário criar muros de sustimento para o material depositado nas escombreiras, e tais muros não devem ser demasiadamente altos para melhor se englobarem na paisagem, se for considerada esta opção. Pretende-se com estes muros, a criação de

---

<sup>13</sup>Hazelwood Resources Ltd, [http://www.hazelwood.com.au/Projects/Cookes\\_Creek\\_Tungsten/](http://www.hazelwood.com.au/Projects/Cookes_Creek_Tungsten/), consultado em 10/2014.

socalcos semelhantes aos criados para algumas práticas agrícolas, para que fiquem englobados na paisagem diminuindo assim o impacto paisagístico da escombreira.

Para a construção deste tipo de muros de suporte existe uma vasta gama de matérias e pré-fabricados que são utilizados em construções como obras de contenção de rios e ribeiras, estabilização taludes naturais ou criados pelo homem, etc. Em Portugal encontram-se por todo o país encostas que foram moldadas pelo homem ao longo dos séculos, para assim tirar melhor partido desses espaços.



**Figura 8-1 Socalcos vinícolas.**

Fonte: Taylor's

“Representou um esforço monumental de humanização da paisagem, intensificado a partir do século XVIII, traduzido em profundos arroteamentos e movimentação de terras.

São estreitos patamares de terra arável, localmente denominadas de courelas, escalonados ao longo da vertente, assentes em muros de suporte -“combaros”- feitos de pedra solta e protegidos das águas de escorrência das vertentes por meio de diques, também de pedra solta.

Construídos na sua maioria com uma disposição linear acompanhando o percurso das linhas de água, predominantemente de forma horizontal, assumem por vezes alinhamentos contínuos ao longo das vertentes ou também uma disposição concêntrica, adaptada à morfologia do terreno.

Estas plataformas mais ou menos planas, de solo profundo e fértil, construídos nas vertentes das montanhas, sobrepostos uns aos outros em escadaria e suportados por grandiosos muros de pedra, permitiram aumentar a superfície agrícola, contrariar os acentuados declives e desenvolver uma agricultura de subsistência de extrema importância para a sobrevivência da comunidade.”, (Confraria de Loriga, s.d.).

Estes socalcos são construídos em linhas de cota igual (isolinhas), construídos em muitos casos em vales pronunciados de linhas de água, tentando assim aumentar as áreas de produção agrícola, que de outra forma não seria possível explorar, devido à sua elevada inclinação.





**Figura 8-2 - Encostas de Loriga preenchidas por socalcos**

Fonte: Confraria de Loriga



**Figura 8-3 - Alguns exemplos de muros de suporte**

Fonte: superior esquerda: Presdouro S.A.; superior e inferior direita: Conde & Ribeiro, Lda.; inferior esquerda: IBDA.  
Para melhor se entender a dimensão desta escombreira são apresentados alguns valores de escombreiras nas Tabela 8-1 e Tabela 8-2.

**Tabela 8-1 – Tabela de cálculo de escombreira de área plana primeira opção**

Estéril (T)	Massa Volúmica	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura média de escombreira (m)	Área de escombreira (m <sup>2</sup> )	Área de escombreira (ha)
6830000	2,9	2355172	4	588793	59
			6	392528,6667	39
			8	294396,5	29

**Tabela 8-2 - Tabela de cálculo de escombreira em socalcos primeira opção**

Estéril (T)	Massa Volúmica	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura de muro (m)	Volume por socalco (m <sup>3</sup> )	Número de socalcos
6830000	2,9	2355172,4	4	5712,6	412,3
			6	12853,3	183,2
			8	22850,4	103,1

Esta é a opção mais simplista quer a nível de execução quer a nível económico pois o desmonte a céu aberto é muito menos dispendioso do que o desmonte em subterrâneo. Esta diferença económica não se fará sentir apenas no desmonte mas sim a nível de toda a infraestrutura mineira. Os valores tidos em conta para os diferentes tipos de desmonte, são os valores consultados no Estudo Conceptual.

## 8.2. Análise 2ª Opção

Na segunda opção encontra-se uma opção que concilia uma exploração a céu aberto com uma exploração subterrânea.

Esta hipótese inicia-se com o desmonte a céu aberto que será em tudo semelhante ao apresentado na primeira opção.

A diferença é apresentada com o desmonte subterrâneo através do método de corte e enchimento que, como método seletivo que é e com um teor de corte de 0,32%, gera apenas 0,81 milhões de toneladas, das quais 0,4 milhões de toneladas (quase 50%) são minério e 0,41 milhões de toneladas de estéril.

O desmonte subterrâneo seria realizado no interior do céu aberto gerado pela primeira fase da exploração, permitindo assim a recuperação de minério que, por se encontrar a profundidades mais elevadas, deixa de representar uma hipótese rendível através de lavra a céu aberto. Inserindo o portal de entrada da exploração subterrânea no interior da exploração a céu aberto evita-se a criação de outra plataforma na encosta para a criação deste portal, o que agravaria ainda mais as questões de impacto visual. Esta fase de exploração inicia-se com uma rampa que garante o acesso aos vários níveis da mina subterrânea, de onde partirão as galerias travessas que darão acesso às frentes de trabalho. Estes trabalhos subterrâneos seriam desenvolvidos no sentido descendente, com o intuito de permitir a exploração das massas minerais mais profundas. Seria necessária a incorporação de poços de ventilação, e a extração do minério teria de ser feita mecanicamente na sua totalidade. Para o enchimento, seria necessária a instalação da central de bombagem do mesmo, para as frentes de trabalho. Como a água das polpas bombeadas, acaba por se libertar aquando da decantação dos materiais da mesma, seria indispensável a colocação de bombas para retirar esta água, e toda a restante que afluiria para a depressão gerada.

Na totalidade dos dois métodos de exploração resultam 9,03 milhões de toneladas de rocha desmontada, que se dividem em 1,79 milhões de toneladas de minério e 7,24 milhões de toneladas de estéril, o que se traduz num rácio de estéril/minério de aproximadamente 4/1.

Nas Tabela 8-3 e Tabela 8-4 são apresentados os cálculos para a escombreira da segunda opção.



**Tabela 8-3 – Tabela de cálculo da área de escombreira segunda opção**

Estéril (T)	Massa Volúmica	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura média de escombreira (m)	Área de escombreira (m <sup>2</sup> )	Área de escombreira (ha)
7240000	2,9	2496552	4	624137,931	62
			6	416091,954	42
			8	312068,9655	31

**Tabela 8-4 – Tabela de cálculo de escombreira em socialcos segunda opção**

Estéril (T)	Massa Volúmica	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura de muro (m)	Volume por socialco (m <sup>3</sup> )	Número de socialcos
7240000	2,9	2496551,7	4	5712,6	437,0
			6	12853,3	194,2
			8	22850,4	109,3

Os problemas a nível paisagístico, tanto da escombreira como da grande depressão no terreno gerada pelo céu aberto continuam a figurar na lista de problemas desta opção, agravados por um maior volume de material a depositar nas escombreiras, o que se traduz num aumento da área de escombreira.

### 8.3. Análise 3ª opção

Como terceira opção é sugerido o desmonte em lavra subterrânea, mais uma vez com base no Estudo Conceptual, embora este não tenha sido tão desenvolvido. Embora na versão do documento EC que serviu de base ao presente trabalho ainda não tinha sido incluído a dedução de volume de minério deixado na zona superficial, e não desmontado numa operação exclusivamente subterrânea, foi avançado pela equipa técnica do projeto que se poderia considerar numa primeira aproximação, e de modo muito conservativo que 20% do volume de minério ficaria *in situ*, não explorado.

Este desmonte seria realizado com um teor de corte de 0,21%, o que se traduz numa massa total de rocha desmontada de 5,37 milhões de toneladas, sendo que destas 2,63 são minério e 2,74 milhões de toneladas são estéril.

Tendo em conta o total de rocha desmontada e a seletividade do desmonte, verifica-se que quase metade do material desmontado (cerca de 49%) é minério. Sendo possível incorporar o estéril nas áreas desmontadas este método consegue também diminuir a área necessária para escombreira.

A opção sugerida seria o desmonte subterrâneo do jazigo, em que o portal de acesso seria feito junto à linha de água que passa no fundo do vale que delimita a encosta. Encontra-se nas proximidades da zona destinada a acolher o portal, uma estrada municipal pelo que seria apenas necessário criar o acesso da estrada até à zona do portal de acesso.

Opta-se por uma entrada em flanco de encosta no fundo do vale, por diminuir a distância até às massas a explorar, visto estas se encontrarem em profundidades diferentes.

Ao optar-se por fazer a abordagem ao jazigo pela base, seria necessário criar uma galeria principal de rolagem que serviria de acesso de máquinas e pessoal, retirada do minério por meios gravíticos e escoamento de águas. O desenvolvimento da mina dar-se-ia de baixo para cima, iniciando-se com a galeria principal de rolagem na base e desenvolvendo-se nível a nível no sentido ascendente, mas

cumprindo os princípios mineiros que aconselham a explorar de cima para baixo, para nunca se trabalhar em cima de vazios. Assim sendo, seria necessário criar diferentes níveis de trabalhos, nos quais existiriam poços de extração verticais que farão com que o minério seja transportado para a galeria de base na qual seria conduzido para o exterior da mina. Para além destes poços de evacuação do material seria necessário criar poços de ventilação até à galeria de base, para que seja possível garantir uma ventilação eficaz. Seria também necessária a instalação da central de bombagem, no exterior da mina, onde se produzirá a polpa de enchimento com recuso aos estéreis da mina, e de toda a infraestrutura necessária ao bombeamento da polpa. Esta instalação ficaria situada numa zona de cotas mais elevadas do que o último nível de trabalhos (o mais superficial) para que seja possível conciliar o transporte gravítico com o bombeamento da polpa para as frentes. Por último na Tabela 8-5 e na Tabela 8-6 apresentam-se os cálculos relativos à escombreira da terceira opção.

**Tabela 8-5 - Tabela de cálculo da área de escombreira terceira opção**

Estéril (T)	Massa Volúmica	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura média de escombreira (m)	Área de escombreira (m <sup>2</sup> )	Área de escombreira (ha)
2090000	2,9	720689,7	4	180172	18
			6	120114	12
			8	90086	9

**Tabela 8-6 - Tabela de cálculo de escombreira em socalcos terceira opção**

Estéril (T)	Massa Volúmica	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura de muro (m)	Volume por socalco (m <sup>3</sup> )	Número de socalcos
2090000	2,9	720689,7	4	5712,6	126,2
			6	12853,3	56,1
			8	22850,4	31,5

Esta é a opção que gera menor volume de estéreis, como se pode ver pelas tabelas acima apresentadas. Isto representa uma diminuição nos parâmetros relativos a impactos ambientais e paisagísticos.

#### 8.4. Síntese e decisão

Após apresentadas e analisadas as opções em causa, apresenta-se a Tabela 8-7 de forma a facilitar a comparação e compreensão de alguns valores.

**Tabela 8-7 - Tabela de comparação das três opções com dados discriminados**

	Desmorte	Teor de corte <sup>14</sup>	Teor Médio <sup>15</sup>	Volume de rocha a desmontar <sup>16</sup>	Estéril <sup>17</sup>	Minério <sup>18</sup>	Tonelada WO <sub>3</sub> contidas	Volume estéril
Unidades		% WO <sub>3</sub>	% WO <sub>3</sub>	Mt	Mt	Mt	T WO <sub>3</sub>	Mm <sup>3</sup>
Opção 1 Céu aberto	Bancadas explosivos	0,1	0,37	8,22	6,83	1,39	514300	2,36
Opção 2 Céu aberto Subterrâneo	Bancadas explosivos	0,1	0,37	8,22	6,83	1,39	514300	2,36
	Corte e enchimento	0,32	0,45	0,81	0,41	0,4	180000	0,14
	Totais	0,1	0,37	9,03	7,24	1,79	694300	2,50
		0,32	0,45					
Opção 3 Subterrâneo	Corte e enchimento	0,21	0,36	5,37	2,74	2,63	948096	0,94

Com esta tabela pretende-se uma comparação rápida entre os valores apresentados para as três opções em causa.

Para que seja possível a tomada de decisão em relação há melhor opção será necessário definir os principais aspetos a ter em conta no projeto em questão.

Para além de valores relativos a recuperações, teores de corte e teores médios, há que ter em conta os volumes de rocha a desmontar, tanto por aspetos económicos como pelo espaço necessário para a criação de escombreyras como acima já foi referido.

Assim sendo opta-se por dividir a comparação em aspetos técnicos e aspetos económicos. Os aspetos técnicos dizem respeito a volumes total de rocha a desmontar, volume de estéril, volume de minério e área média de escombreyra, o impacto visual, e o rácio estéril/minério; e os aspetos económicos dizem respeito a custo de desmorte, preço de maquinaria e tratamento.

<sup>14</sup> Cfr. Estudo Conceptual

<sup>15</sup> Cfr. Estudo Conceptual

<sup>16</sup> Cfr. Estudo Conceptual

<sup>17</sup> Cfr. Estudo Conceptual

<sup>18</sup> Cfr. Estudo Conceptual

Restringindo os dados aos basilares para a tomada de decisão, apresenta-se a Tabela 8-8, sendo esta uma tabela de classificação qualitativa.

Definindo como valor mínimo 1, correspondente ao volume ou área mais baixo e por isso mais vantajoso, e valor máximo 3 como valor mais elevado para volume ou área, e assim menos vantajoso, tenta-se agora realizar uma análise que no fim possibilite a escolha da opção mais viável em termos técnicos.

O cenário mais vantajoso será aquele que tiver o menor número de pontos somados.

**Tabela 8-8 - Tabela de comparação de aspetos técnicos**

Opções	1ª (céu aberto)	2ª (mista)	3ª (subterrânea)
Volume total de rocha	2	3	1
Volume de estéril	2	3	1
Área média de escombreira	2	3	1
Impacto visual e ambiental	3	3	1
Rácio estéril/minério	3	2	1
Total	12	14	5

1 - melhor; 2 - intermédio; 3 – pior

Analisando a primeira opção pode-se constatar que se encontra em segundo lugar (intermédio) no que toca ao volume de rocha a desmontar. A quantidade de estéril acompanha esta segunda posição, assim como a área de escombreira. No que diz respeito ao impacto visual esta opção conta com a maior pontuação (3 – pior) por ser a que gera a maior cicatriz no terreno, pois para além da depressão gerada no terreno pelos desmontes, será necessária a segunda maior área para acomodar o estéril. Embora o seu volume de estéril se encontre com uma classificação intermédia, a quantidade de minério explorado será a mais baixa das três opções, refletindo-se por isso no rácio/estéril minério, deixando esta opção na pior posição no que diz respeito a este parâmetro. Assim sendo chega-se ao fim da análise com um uma classificação de 12 pontos.

Na segunda opção encontra-se o maior resultado do somatório das classificações atribuídas aos diferentes parâmetros. Isto acontece por se encontrarem nesta opção os maiores valores para todos os parâmetros excetuando-se no respeitante ao rácio estéril/minério. É a opção que comporta o maior volume de rocha a desmontar, influenciando as classificações dos restantes parâmetros. O facto de gerar um grande volume de estéril, afeta diretamente o parâmetro respeitante à área de escombreira e por isso, encontra-se classificada com a pior pontuação. Esta solução não consegue contornar os problemas do impacto visual e ambiental no terreno face à primeira opção, pelo que se opta por atribuir a mesma classificação a este parâmetro, visto os problemas da grande cratera gerada e a maior área de escombreira estarem também presentes nesta opção. Por último, analisando o rácio/estéril pode-se verificar que o minério explorado será mais elevado do que na primeira opção. Embora o volume de estéril seja o maior das três opções, este rácio encontra-se na segunda posição. Em conclusão pode-se verificar que a segunda opção tem um somatório de 14 pontos, o maior somatório de todas as opções analisadas.

Na terceira opção, encontra-se uma classificação extremamente baixa face às opções apresentadas. Em termos de volumes a desmontar, esta opção aparece com a melhor classificação pois, mesmo com a criação do layout da mina segundo as normas vigentes, o seu volume total de rocha a desmontar será sempre mais baixo do que do que as restantes opções, justificável pela grande seletividade do método de desmonte em causa. Esta grande seletividade vai se repercutir no volume de estéril gerado, conseguindo assim a melhor classificação para este parâmetro face às restantes opções. Por outro lado, um menor volume de estéril reflete-se numa menor área de escombreira, por isso classificado em primeiro lugar. No respeitante ao impacto visual e ambiental esta opção encontra-se em primeiro lugar, por contornar o problema base das outras opções, que é a grande depressão no terreno gerada pelo desmonte. Neste caso apenas será necessário a criação de um patamar no talude para a criação do portal de entrada e estaleiro, a plataforma para instalação da central de bombagem do enchimento, bem como acessos à zona do portal desde a estrada municipal. Este impacto visual e ambiental, será portanto, significativamente mais reduzido face às demais opções, e toda a parte respeitante à central de bombagem será desmantelada no final do projeto. No que ao rácio estéril/minério diz respeito esta é a opção que consegue o melhor balanço entre o produto obtido face ao estéril sendo por isso também mais vantajoso para a exploração. Pode-se verificar que esta opção apresenta uma classificação de 5 valores conseguindo a melhor pontuação das três opções.

Após esta análise em termos técnicos será necessário agora fazer o mesmo exercício comparativo em termos económicos. Limitados pela dificuldade da obtenção de valores reais para os parâmetros analisados, opta-se, também neste caso, por realizar esta comparação em termos qualitativos, com base no Estudo Conceptual, de modo a concluir a melhor opção para o projeto em questão. Seguindo os mesmos moldes da comparação anterior, define-se a classificação 1 como valor mais baixo de custo e por isso mais vantajosa, e como 3 o valor mais alto e por isso menos vantajoso. Apresenta-se assim na Tabela 8-9 uma pequena comparação para a determinação da melhor opção em termos económicos.

**Tabela 8-9 - Comparação qualitativa de custos**

Opções	1ª (céu aberto)	2ª (mista)	3ª (subterrânea)
Custo de desmonte	1	2	3
Maquinaria	1	3	3
Tratamento	3	3	3
Total	5	8	9

1 - melhor; 2 - intermédio; 3 - pior

Como se pode verificar no primeiro caso analisado encontra-se a opção que apresenta o menor somatório de pontuação. No desmonte a céu aberto o custo apresenta o menor valor, sendo a opção mais barata das opções em causa, como aliás já tinha sido referido anteriormente. No que à maquinaria diz respeito esta é também a opção mais vantajosa pelos custos da maquinaria utilizada em obra a céu aberto ser mais baixo. Por último, analisando o tratamento do material atribui-se a classificação máxima, e por isso menos vantajosa, com base em valores apresentados, uma vez mais, no Estudo Conceptual, que atribui um valor unitário de tratamento para o minério extraído que é igual para as três opções.

No segundo caso analisa-se a opção que concilia o desmonte a céu aberto com o desmonte subterrâneo, com o intuito de aumentar as reservas exploradas. Assim sendo, neste caso o custo de desmonte aparece

em segundo lugar por ter uma fase do desmonte a um preço igual ao do primeiro caso, mas contempla também uma segunda fase com desmonte subterrâneo e por isso um preço mais elevado. Este último, para além de ser mais dispendioso, obriga-nos a aquisição de maquinaria apropriada ao desmonte subterrâneo, traduzindo-se isto num aumento ainda maior dos custos. Em suma, esta opção comporta custos elevados pela necessidade de aquisição de material para as duas fases do desmonte. O tratamento é igualmente penalizado com base no Estudo Conceptual.

No terceiro caso, encontra-se a opção de desmonte subterrâneo que é bastante penalizada por apresentar custos de desmonte muito mais elevados, mesmo sendo a opção que desmonta o menor volume possível de material, pela grande seletividade do método de desmonte em questão. No que à maquinaria diz respeito, esta opção é mais uma vez penalizada ao máximo pelo elevado custo de maquinaria de perfil rebaixado, utilizada, e cada vez mais em voga na exploração de depósitos pequenos ou complexos para minas subterrâneas. Relativamente ao tratamento mais uma vez, atribui-se a classificação máxima.

Assim sendo será agora necessário analisar o conjunto das comparações técnicas e económicas para tentar determinar qual a situação que melhor se adequa ao projeto de exploração.

Na primeira opção, encontra-se a opção de exploração a céu aberto que segundo a comparação em termos técnicos é a opção que se encontra na segunda posição, e em termos económicos em primeiro lugar. Pelos termos técnicos esta opção não se apresenta como uma opção atrativa pelo impacto visual que gera no terreno e pelo elevado volume de estéreis que será necessário depositar em escombreira. Embora não analisado nos parâmetros económicos, os terrenos utilizados para escombreira terão custos para a exploração e o projeto de recuperação paisagística será também um encargo económico para a exploração e que é expectável que seja maior nas opções a céu aberto do que na opção subterrânea. Ainda assim nos termos analisados nos parâmetros económicos esta opção encontra-se em primeiro lugar pelo menor custo de desmonte e de maquinaria.

A opção que concilia a exploração a céu aberto com a exploração em subterrâneo, apresenta-se em terceiro lugar em termos técnicos e em segundo lugar em termos económicos. Embora contenha uma parte da exploração em subterrâneo esta opção não consegue contornar o problema basilar das explorações a céu aberto que é o impacto visual. Daí advêm problemas como o projeto de recuperação paisagística de maior envergadura, do que para a opção subterrânea. Esta opção é também a que gera maior volume de estéril e por isso necessitará de uma maior área de escombreira, que também comporta custos, embora não estejam contemplados neste trabalho. Em termos económicos esta opção passa para segundo lugar pelo elevado custo de desmonte da fase em lavra subterrânea e pela necessidade de aquisição de maquinaria adequada a trabalho em lavra subterrânea, o que faz com que a frota mecânica aumente consideravelmente. Assim sendo, será necessário a aquisição de maquinaria para as duas fases, uma vez que a maquinaria da primeira fase do projeto não satisfaz as especificações da maquinaria de lavra subterrânea e vice-versa.

A última opção analisada encontra-se na primeira posição em termos técnicos mas em terceiro lugar em termos económicos. Em termos técnicos esta opção ganha em todos os parâmetros. A opção propõe que o projeto se realize na totalidade em lavra subterrânea, e pela grande seletividade do método de desmonte utilizado, permite reduzir uma grande parte da totalidade da rocha a desmontar. Isto traduz-se numa

grande vantagem face às restantes opções uma vez que reduz em grande parte o volume de estéril a alocar em escombreira. Embora seja a opção com menor quantidade de rocha a desmontar, é a opção que consegue o melhor rácio estéril/minério. Em termos económicos esta é a opção mais penalizada sendo a mais dispendiosa em todos os parâmetros analisados. O desmonte em lavra subterrânea tem um custo de desmonte quase nove vezes superior ao desmonte a céu aberto (segundo o Estudo Conceptual), o que faz com que esta opção seja penalizada com a pior pontuação. No que a nível da maquinaria diz respeito, esta opção é também a menos vantajosa por necessitar de maquinaria especializada para trabalhar em ambientes fechados e reduzidos. Para além da maquinaria é também necessário criar toda a infraestrutura de ventilação da mina.

O projeto em causa, quer seja este em lavra a céu aberto, ou subterrânea encontra-se limitado desde início por dificuldades que não são passíveis de ser contornadas por algumas das opções equacionadas. Em primeiro lugar, o facto de a área em questão se encontrar numa zona protegida ou de interesse ambiental, acarreta grandes limitações relativamente às opções que contemplam lavra a céu aberto. Uma vez que qualquer tipo de desmonte realizado neste tipo de lavra, para além de gerar uma grande depressão no terreno, com grandes inclinações e portanto uma enorme cicatriz na paisagem, gera também um elevado número de poeiras, que poderá causar problemas graves a nível da fauna e flora local. Aos problemas apresentados junta-se ainda a necessidade de uma grande área para a deposição de escombros que mais uma vez fica limitada pela classificação que o terreno tem.

Assim sendo, a opção mais favorável, que poderá conseguir contornar alguns dos problemas apresentados, será a opção de lavra subterrânea. Esta será a opção legalmente mais plausível, por causar danos muito reduzidos à superfície e apresentar uma área de escombreira muito menor, comparativamente com às restantes opções. Será assim mais fácil a nível legal conseguir a aceitação do projeto em questão junto das entidades competentes, desde que este cumpra todos os requisitos legais.

Com esta hipótese é possível contornar problemas de impacto visual e ambiental, já que não se marcará o terreno com uma depressão de grandes dimensões; não será necessária uma área tão grande para a escombreira, e no final da exploração este material será incorporado no enchimento. A geração de poeiras pelo desmonte também deixa de fazer parte da lista de problemas. A central de bombagem necessária ao enchimento será desmantelada no final destes trabalhos, restando apenas a plataforma onde esta for instalada como impacto visual, que facilmente se consegue reabilitar.

O grande inconveniente desta exploração será a parte económica. Esta opção contempla infraestruturas completamente diferentes, que têm custos mais elevados e o custo do desmonte em lavra subterrânea é também mais acentuado.

No entanto a nível económico esta análise necessita de estudos que possam concluir a viabilidade do projeto. Espera-se que as novas campanhas de pesquisa e sondagem no terreno possibilitem o aumento das reservas do jazigo em questão e que assim o projeto se torne economicamente viável.





## 9. Detalhes e propostas

### 9.1. Descrição da opção escolhida e soluções propostas

Depois de determinada a opção na qual se baseará o projeto, realiza-se agora uma descrição detalhada do mesmo para que se possa explicar as alterações que se pretendem fazer para o tentar viabilizar.

A primeira fase do projeto será a criação de acessos desde a estrada municipal até à área onde se pretende realizar o portal de acesso. Esta estrada será desenvolvida paralelamente a uma linha de água sazonal, e que terá de ser transposta por uma pequena ponte, dando acesso à zona onde se pretende criar o portal de acesso. Como a zona em questão se encontra em flanco de encosta, será necessário criar uma plataforma nesta encosta para que seja possível a criação do portal de entrada. Esta plataforma terá de ter dimensões suficientes para comportar um pequeno estaleiro e toda a movimentação de máquinas necessárias. Após esta fase será então necessário iniciar os trabalhos de desmonte para a criação da galeria principal de rolagem. Esta galeria terá uma secção de 5x5 metros (com base no EC) para que seja possível a colocação de toda a infraestrutura de ventilação, sem pôr em causa o movimento das máquinas.

O estudo de uma menor secção de galeria permitiria diminuir o volume de estéril desmontado, o que representaria diminuição dos custos de transporte e de deposição. Por outro lado, a utilização de maquinaria de baixo perfil tem um custo extremamente elevado de aquisição, pelo que estas soluções terão de ser equacionadas. A partir da galeria de rolagem será necessário criar uma galeria que fará o acesso aos diferentes níveis de exploração. No final da galeria de base pretende-se criar um salão de dimensões capazes de comportar um silo que armazenará o material dos pisos superiores. O desmonte do minério terá sempre de ser feito de cima para baixo, segundo os princípios básicos da exploração mineira. A galeria de acesso, que partirá da galeria de rolagem, fará o acesso da maquinaria às frentes de trabalho que estarão localizadas em galerias travessas. Estas últimas, serão as galerias que vão explorar os diferentes níveis da mina, e prevê-se que em cada um destes andares existam poços para a evacuação do minério, de forma vertical, até ao salão construído na galeria de base, permitindo assim economizar nos transportes de material dentro da mina. Estes poços verticais podem ser realizados por raiseboring, e também funcionarão como ventilação suplementar. O raiseboring apresenta-se como uma solução mais rápida e eficaz para a realização deste tipo de estruturas, o que acaba por se traduzir numa melhoria a nível de custos. Estes poços ou chaminés para além de terem como função o transporte dos materiais, poderão ser utilizados como silos de armazenamento, até que seja possível realizar a descarga do material, à semelhança do caso da Mina da Panasqueira.

Para tentar viabilizar esta opção, propõe-se a instalação de um britador móvel no interior do salão da galeria de rolagem, que seria alimentado pelo silo ali instalado, o que possibilitaria facilitar o transporte do material para o exterior. Uma outra proposta para tentar otimizar esta opção, seria a implantação de uma tela transportadora desde o salão até ao portal de acesso, de onde posteriormente será transportado para o tratamento. O facto de o material já sair britado do interior da mina, vai-se traduzir numa baixa dos

custos de tratamento uma vez que é ultrapassado nesta fase. Estas soluções aqui propostas, encontram-se postas em prática em algumas minas do nosso país como é o caso da Mina da Panasqueira que contem um britador primário que depois de fragmentar o material o encaminha para a superfície através de uma tela transportadora.

“O minério é removido e transportado até as chaminés verticais (Rs) com pás diesel. Estas chaminés são usadas como silos, pelas quais o minério desce até às galerias (Ps e Ds) do nível 3 por acção da gravidade. Neste nível (pela parte inferior das chaminés de minério) o minério é descarregado em vagões (locomotiva *trolley*) e é transportado até ao poço de extracção onde, mediante um guincho eléctrico e jaula é extraído para o nível 2. Neste último nível o minério é transportado com locomotivas de bateria para os silos (P4) que alimentam à câmara de quebragem. Finalmente, realizada a britagem primária, é extraído pela correia transportadora”, (Dinis da Gama, Navarro Torres, 2005).

A câmara de quebragem referida é o britador primário, que realiza a fragmentação.

Após serem apresentadas as possíveis soluções a ser implementadas no projeto, importa agora rever a análise efetuada aos parâmetros económicos, pois as alterações apresentadas traduzem algumas baixas nas classificações apresentadas na Tabela 8-7.

Apresenta-se na Tabela 9-1 uma nova análise:

**Tabela 9-1 - Reavaliação da comparação qualitativa de custos**

Opções	1ª (céu aberto)	2ª (mista)	3ª (subterrânea)
Custo de desmonte	1	2	3
Maquinaria	1	3	3
Tratamento	3	3	1
Total	5	8	7

1 - melhor; 2 - intermédio; 3 - pior

Por um lado, como se pode verificar ao adicionar à 3ª opção as alterações apresentadas consegue-se, pelo menos, diminuir os custos de tratamento. Tais alterações refletem-se numa melhor classificação no que diz respeito aos parâmetros económicos. Por outro lado, poder-se-á colocar a hipótese de as soluções propostas anteriormente se refletirem nos referidos parâmetros. Todavia optou-se por não alterar as suas classificações, uma vez que estas carecem de estudos. Na Tabela 9-1 verifica-se a subida de posição na classificação face à apresentada na Tabela 8-9 pelo que assim consegue atingir a segunda posição relativamente a estes parâmetros.

## **10. Conclusão**

O presente trabalho vem discutir uma temática bastante atual que se encontra em constante evolução por todo o mundo. É um tema que carece de investigação e desenvolvimentos legais, mas que se apresenta como uma alternativa plausível à obtenção de matérias-primas.

Neste momento encontram-se já em alguns países, como é o caso da Austrália entre outros, explorações de jazigos complexos e de pequenas dimensões, na vertente de narrow vein mining. Estes têm contribuído com informações muito importantes para o estudo e desenvolvimento de outros projetos que poderão vir a tornarem-se economicamente viáveis. Este tipo de atividades tem levado também ao desenvolvimento de maquinaria especializada por parte de diversas empresas, criando-se assim um ramo de maquinaria inexistente até a alguns anos atrás, e novos métodos de exploração.

O caso de estudo aqui apresentado, bem como as comparações realizadas, vêm tentar mostrar a possibilidade de se recorrer a este tipo de jazigos, que não tem sido tido em conta como um possível recurso. A constante procura de matérias-primas pelos países da União Europeia, e a sua dependência das importações, levou a Comissão Europeia a lançar programas de apoios financeiros para projetos que se dediquem à investigação e desenvolvimento, de novas técnicas de prospeção e exploração de depósitos minerais. Neste contexto, a Comissão Europeia aponta a exploração de depósito de menores dimensões como uma opção, que no entanto carece de estudos e desenvolvimentos, para que este tipo de explorações se torne viável.

Em Portugal existe o conhecimento de diversos jazigos minerais, alguns deles outrora explorados, mas que até agora não se consideravam como recursos por serem de dimensões reduzidas. Com a subida do risco geopolítico nos países onde estão situados grande parte dos jazigos de minérios metálicos de grandes dimensões, as empresas mineiras voltam a olhar para países com potencial mineiro menor, com pequenos jazigos, como Portugal, onde o risco geopolítico e económico é reduzido. Como atrás foi demonstrado, na última década, em Portugal, tem-se verificado um aumento considerável no que ao nível de contratos de pesquisa e prospeção, assinados diz respeito. Poderá agora estar a ser aberta uma porta a uma nova Jornada Mineira em Portugal, iniciando-se a pesquisa e consolidação de dados deste tipo de jazigos minerais.

Como se pode verificar pelos dados do trabalho aqui apresentado, as reservas exploráveis disponíveis em lavra subterrânea são superiores àquelas que podem ser extraídas por métodos de exploração a céu aberto.

Independentemente da escolha do tipo de lavra a implementar neste depósito, caso o projeto avance, será necessário desenvolver estudos no respeitante à problemática das escombreiras. Como aqui foi demonstrado, o elevado número de materiais a depositar é um dos problemas basilares de qualquer uma das opções.

Assim, este trabalho tentou demonstrar os prós e contras de uma exploração desta ordem, sendo que se pode concluir, que este tipo de investimento, fundamentado em mais estudos, poderá vir a ter resultados satisfatórios. Embora este trabalho seja feito à boca da mina, podemos também referir que, um jazigo desta dimensão dificilmente conseguirá comportar os custos associados ao tratamento pelo que se equaciona aqui a possibilidade da criação de uma lavaria em posição central que servisse diversos depósitos similares e próximos como é o caso do jazigo de outro jazigo que se encontra a 15 km, e assim viabilizar ambos os projetos.

## 11. Bibliografia

- (PERC), T. P.-E. (17 de dezembro de 2008). PAN-EUROPEAN CODE FOR REPORTING OF EXPLORATION RESULTS, MINERAL RESOURCES AND RESERVES.
- America, O. (2008). *Metals mining and sustainable development in Central America*.
- Ávila, E. C. (Agosto de 2003). Recursos Naturales e Infraestrutura. *Small-scale Mining: a new entrepreneurial approach*.
- Carlos Dinis da Gama, V. F. (2005). *Engenharia Ambiental, Subterranea e Aplicações*.
- CARLOS DINIS DA GAMA, V. N. (2002). INTERPRETAÇÃO GEOMECÂNICA DA SUBSIDÊNCIA NA MINA DA PANASQUEIRA. 8º Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa.
- Carvalho, D. d. (s.d.). EDM, Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA. Obtido em 20 de 09 de 2014, de <http://www.edm.pt/html/noticia20051109.htm>
- Caxaria, C. (janeiro de 2014). Horizon 2020 – Raw Materials InfoDay. *Portuguese Engagement on the EIP on Raw Materials; Mineral Resources: Opportunities in Portugal*. Lisboa, Portugal.
- Cerveira, A. M. (Junho de 1982). Problemática do tungstenio e da shceelite em particula. *Geonovas*, 3, p. 1.
- Chau, J. R. (2014). *mindat.org - the mineral and locality database*. Obtido em 1 de 10 de 2014, de <http://www.mindat.org/min-3560.html>
- Comission, E. (2010). Critical raw materials for the EU.
- Commission, E. (27 de junho de 2012). *EU requests WTO panel against China's export restrictions on rare earths*. Obtido de [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-12-707\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-12-707_en.htm)
- Copco, A. (s.d.). *Atlas Copco Portugal*. Obtido em 14 de 08 de 2014, de [http://www.atlascopco.pt/ptpt/aboutus/sales/012\\_sales\\_construcao\\_e\\_minas/](http://www.atlascopco.pt/ptpt/aboutus/sales/012_sales_construcao_e_minas/)
- Copenhagen, G. (2007). Geoviden, Geology and Geography nº2. *Small-scale gold mining in developing countries*, pp. 2-7.
- Cornelis Klein, B. D. (2012). *Manual de Ciência dos Minerais* (23ª ed.). Bookman.
- Decreto-Lei nº90/90 Diário da República: I série, Nº63 (16/03/1990), Obtido em 02 de 10 de 2014.
- Direção Geral de Energia e Geologia, D. (Dezembro de 2011). Informação Estatística da Industria Extractiva. *nº13 - Edição Especial*.
- European Commission. (04 de 02 de 2014). Obtido de Tools for Mining Small Complex Gold Deposits: <https://ec.europa.eu/eip/raw-materials/en/content/tools-mining-small-complex-gold-deposits>

- Fernando Noronha, J. M. (2006). *Carta Geológica de Portugal, Notícia Explicativa da Folha 2*. Lisboa: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, INETI.
- Fragata, R. (2001). Minas da Panasqueira, A vida debaixo da terra. *Jornal on-line da UBI*.
- InfoMine. (s.d.). Obtido em 15 de 08 de 2014, de TechnoMine Mining Technology: <http://technology.infomine.com/reviews/raiseboring/welcome.asp?view=full>
- ITIA. (junho de 2014). Tungsten. *The Panasqueira Mine at a Glance*.
- ITIA, I. T. (s.d.). ITIA, *International Tungsten Industry Associated*. Obtido em 12 de 09 de 2014, de <http://www.itia.info/tungsten-properties.html>
- J.Ralph. (s.d.). Obtido em 2014 de 10 de 1, de mindfind.com: <http://www.minfind.com/mineral-198147.html>
- John F. Papp, E. L. (2008). Factors that influence the price of Al, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Rare Earth Elements, and Zn.
- Jolyon Ralph, I. C. (s.d.). *Mindat.org*. Obtido de <http://www.mindat.org/min-3560.html>
- Latimer, C. (2013). *miningaustralia*. Obtido em 16 de 09 de 2014, de <http://www.miningaustralia.com.au/features/new-compact-drill-narrow-vein-more-options>
- Leite, M. R. (1986). *Fragmentação e Classificação de Rochas e Minérios*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Limited, M. M. (s.d.). *Narrow Vein Mining*. Obtido em 2 de 10 de 2014, de <http://www.medusamining.com.au/narrow-vein-mining/>
- Limited, S. C. (2013). *A PRELIMINARY ECONOMIC ASSESSMENT ON THE TABUAÇO TUNGSTEN PROJECT, PORTUGAL*.
- Lisboa, D. d. (2006). *Jazigos de Sn e W do Tipo Filoneano e do Tipo Greisen*.
- Mark Winter [The University of Sheffield and WebElements Ltd, U. (s.d.). *WebElements: the periodic table on the web*. Obtido em 1 de 10 de 2014, de <http://www.webelements.com/tungsten/>
- Materials, T. E. (18 de 09 de 2013). STRATEGIC IMPLEMENTATION PLAN FOR THE EUROPEAN INNOVATION PARTNERSHIP ON Raw Materials Part I. pp. 10-16.
- Materials, T. E. (18 de 09 de 2013). STRATEGIC IMPLEMENTATION PLAN FOR THE EUROPEAN INNOVATION PARTNERSHIP ON Raw Materials Part II. pp. 8-16.
- Mechanised Narrow Vein Mining. (10 de 2010). *International Mining*, 60-62.
- Meinert, L. D. (2013). A brief history of skarn. *Keynote speaker*.
- Minas, I. -E. (2007). Conceitos Gerais Jazigos Minerais Recursos e Reservas Minerais. *Seminário em Ciências da Engenharia da Terra/ 2007*, pp. 7-12.
- Mineiro, I. G. (1999). Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto Versão Online no site do INETI: [http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes\\_online/diversos/boa\\_pratica/indice.htm](http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/boa_pratica/indice.htm).
- Mineralogy database. (s.d.). Obtido em 1 de 10 de 2014, de <http://webmineral.com/data/Scheelite.shtml#.VC9TKlf9X64>
- NL, T. M. (03 de 06 de 2013). TGN Scoping Study June 2013, ROBUST SCOPING STUDY CONFIRMS VIABILITY OF TUNGSTEN MINING'S KILBA PROJECT. 1-5. Obtido em 18 de

- 05 de 2014, de <http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCgQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.tungstenmining.com%2Fdocs%2F0012%2520TGN%2520Scoping%2520Study%2520June%25202013.pdf&ei=NnW1U4TIONH30gXD74D4DQ&usg=AFQjCNGENomxqRCLLZ01wbxJ--L4il-hWA&sig2=W3S>
- Nunes, J. P. (2010). O Estado novo e o volfrâmio (1933-1947). Coimbra: Imprensa da Univ. de Coimbra.
- Pioneering Underground Techonologies*. (s.d.). Obtido em 15 de 08 de 2014, de <https://www.herrenknecht.com/en/products/core-products/mining/raise-boring-rig-rbr.html>
- resources, E. (janeiro23 de 2013). Developing Portugal's next gold and tungsten mines.
- s.a. (s.d.). Obtido em 1 de 10 de 2014, de Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG: <http://www.lneg.pt/divulgacao/noticias-institucionais/257>
- s.a. (09 de 2010). *Ormonde ITIA Barruecopardo Presentation, 2010*. Obtido de [http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fformondemining.com%2Fuf%2FOrmonde%2520ITIA%2520Barruecopardo%2520Presentation%2520Sep%25202010.pdf&ei=o\\_c7VJrgJs3maNTJgOAH&usg=AFQjCNHj7PY7Noqi6EApJbfA1hm8ZV5ePg&s](http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fformondemining.com%2Fuf%2FOrmonde%2520ITIA%2520Barruecopardo%2520Presentation%2520Sep%25202010.pdf&ei=o_c7VJrgJs3maNTJgOAH&usg=AFQjCNHj7PY7Noqi6EApJbfA1hm8ZV5ePg&s)
- s.a. (2013). Minas de volfrâmio de Portugal vão ser apresentadas no Luxemburgo. *Luxemburger Wort EN*.
- s.a. (s.d.). *Minas da Panasqueira – Um museu natural*. Obtido em 2 de 10 de 2014, de Minerais de Portugal: <http://home.uevora.pt/~pmn/min/PAN001.htm>
- SIMON C. DOMINY: Mining Geology Group, S. o. (1997). *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*. Obtido em 9 de 10 de 2014, de [http://www.cim.org/en/Publications-and-Technical-Resources/Publications/Technical\\_Papers/1997/10/104056](http://www.cim.org/en/Publications-and-Technical-Resources/Publications/Technical_Papers/1997/10/104056)
- Steffen, O. (1997). Planning of open pit on a risk basis. *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 50-57.
- Stevens, R. (2012). *Mineral Exploration and Mining Essentials*. Pakawau GeoMangement Inc.
- Survey, B. G. (Janeiro de 2011). Tungsten. pp. 3,7.
- Universidade de Lisboa*. (s.d.). Obtido em 1 de 10 de 2014, de Museu Nacional de Historia Natural e da Ciencia da Universidade de Lisboa: [http://www.mnhnc.ulisboa.pt/portal/page?\\_pageid=418,1391256&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.mnhnc.ulisboa.pt/portal/page?_pageid=418,1391256&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Wheeler, A. (Outubro de 2013). REPORT NI 43-101 TECHNICAL REPORT ON THE MINERAL RESOURCES AND RESERVES OF THE LOS SANTOS MINE PROJECT, SPAIN.

### 11.1. Sítios Consultados:

- Los Santos Project.* ( 2012). Obtido em 03 de 06 de 2014, de [http://almonty.com/projects/los\\_santos](http://almonty.com/projects/los_santos).
- Ormonde Mining - Barruecopardo Tungsten Project.* (s.d.). Obtido em 18 de 05 de 2014, de [http://www.ormondemining.com/en/projects/barruecopardo\\_tungsten\\_project/summary\\_btp](http://www.ormondemining.com/en/projects/barruecopardo_tungsten_project/summary_btp)
- Scheelite, K. I. (2008). *KING ISLAND SCHEELITE / Dolphin Project*. Obtido em 20 de 05 de 2014, de <http://www.kingislandscheelite.com.au/dolphin-project>
- Tungsten Corp. Obtido em 20 de 04 de 2014, de <http://www.tungsten-corp.com/tungsten/prices>
- INTERNATIONAL TUNGSTEN INDUSTRY ASSOCIATION. Obtido em 17 de 03 de 2014, de <http://www.itia.info/tungsten-prices.html>
- EL UNIVERSAL. Obtido em 18 de 08 de 2014, de <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/internacional/hoy-hace-un-ano-del-estamos-bien-los-33-que-salvo-mineros-chilenos-39367>
- Atlas Copco USA. Obtido em 19 de 08 de 2014, de <http://www.atlascopco.us/usus/products/productgroup.aspx?id=1401336>
- Rotas do Volfrâmio na Europa. Obtido em 09 de 09 de 2014, <http://routesofwolfram.eu/pt/volframio/o-que-e-o-volframio.html>
- Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM). Obtido em 07 de 09 de 2014, <http://www.edm.pt/html/noticia20051109.htm>
- FMS - The Fluorescent Mineral Society. Obtido em 09 de 09 de 2014, <http://uvminerals.org/fms/minerals>
- Infopédia, Obtido em 09 de 09 de 2014, [http://www.infopedia.pt/\\$volframite,2](http://www.infopedia.pt/$volframite,2)
- RedOrbite. Obtido em 09 de 09 de 2014, [http://www.redorbit.com/education/reference\\_library/earth/minerals/2575076/scheelite/](http://www.redorbit.com/education/reference_library/earth/minerals/2575076/scheelite/)
- Bango. Obtido em 10 de 09 de 2014, de <http://www.bangoalloy.com/Portuguese/Tungsten-Electrode/>
- BYHSTORE. Obtido em 10 de 09 de 2014, de <http://byh.com.br/anel-tipo-alianca-larga-carboneto-de-tungstenio-preto-lote-3-pecas>
- Freepik. Obtido em 10 de 09 de 2014, de [http://br.freepik.com/fotos-gratis/tungstenio-material-grafico-de-bolhas\\_581604.htm](http://br.freepik.com/fotos-gratis/tungstenio-material-grafico-de-bolhas_581604.htm)
- DillerMine. Obtido em 10 de 09 de 2014, de <http://www.drillmine.com.br/PRODUTOS/?cid=110&sid=118&pid=95http://www.drillmine.com.br/PRODUTOS/?cid=110&sid=118&pid=95>
- Almonty Industries. Obtido em 23 de 05 de 2014, de <http://almonty.com/projects/>
- Virtual Geology. Obtido em 20 de 06 de 2014, <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/Ore-Genesis-Notes/Skarn%20Multielement.htm>
- Departamento: Mineral Resources Republic of South Africa. Obtido em 12 de 09 de 2014, <http://www.dmr.gov.za/small-scale-mining.html>



European Comission, Research & Innovation. Obtido em 12 de 09 de 2014, de <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2054-sc5-11a-2014.html>

Tailings.Info. Obtido em 12 de 09 de 2014, de <http://www.tailings.info/storage/backfill.htm>

Presdouro S.A., Obtido em 12 de 09 de 2014, <http://presdouro.pt/06/02.html>

Conde & Ribeiro, Lda., Obtido em 12 de 09 de 2014, <http://www.conderibeiro.com/>

IBDA, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitectura, ., Obtido em 12 de 09 de 2014, <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=1491>

Confraria de Loriga. Obtido em 12 de 09 de 2014, [http://www.confrariadeloriga.org/?page\\_id=706](http://www.confrariadeloriga.org/?page_id=706)

Decreto-Lei nº90/90 Diário da República: I série, Nº63 (16/03/1990). Obtido em 02 de 10 de 2014, de <https://dre.pt/>

Decreto-Lei nº88/90 Diário da República: I série, Nº63 (16/03/1990). Obtido em 02 de 10 de 2014, de <https://dre.pt/>

Sandvik. Obtido em 2 de 10 de 2014, de <http://www.mining.sandvik.com/>

Taylor's. Obtido em 2 de 10 de 2014, de <http://www.taylor.pt/pt/o-que-e-o-vinho-do-porto/a-regiao-do-douro/paisagismo-das-vinhas/>

Hazelwood Resources Ltd. Obtido em 4 de 10 de 2014 [http://www.hazelwood.com.au/Projects/Cookes\\_Creek\\_Tungsten/](http://www.hazelwood.com.au/Projects/Cookes_Creek_Tungsten/)



## **12. Anexos**

**12.1. Tabela de cálculo de valores relativos aos desmontes**

**12.2. Tabelas de cálculo de escombreira de área plana**

**12.3. Tabela de cálculo de escombreira em socacos**



**12.1.1 Tabela de cálculo de valores relativos ao desmonte**

	Desmonte	Teor de corte	Teor Médio	Volume de rocha a desmontar	Estéril	Minério	mtu contidos	Volume estéril
Unidades		%WO <sub>3</sub>	%WO <sub>3</sub>	Mt	Mt	Mt	mtu WO <sub>3</sub>	Mm <sup>3</sup>
Opção 1 Céu aberto	Bancadas explosivos	0,1	0,37	8,22	6,83	1,39	514300	2,36
Opção 2 Céu aberto Subterrâneo	Bancadas explosivos	0,1	0,37	8,22	6,83	1,39	514300	2,36
	Corte e enchimento	0,32	0,45	0,81	0,41	0,4	161550	0,14
	Totais	0,1	0,37	9,03	7,24	1,79	675850	2,5
		0,32	0,45					
Opção 3 Subterrâneo	Corte e enchimento	0,21	0,37	5,37	2,74	2,63	948096	0,94



## 12.2.1 Tabela de cálculo de escombreira de área plana

1ª opção	Estéril (T)	Peso específico	Estéril (m³)	Altura média de escombreira (m)	Área de escombreira (m²)	Área de escombreira (ha)
	6830000	2,9	2355172	4	588793	59
				6	392528,6667	39
				8	294396,5	29
				10	235517,2	24

2ª opção	Estéril (T)	Peso específico	Estéril (m³)	Altura média de escombreira (m)	Área de escombreira (m²)	Área de escombreira (ha)
	7240000	2,9	2496552	4	624137,931	62
				6	416091,954	42
				8	312068,9655	31
				10	249655,1724	25

3ª opção	Estéril (T)	Peso específico	Estéril (m³)	Altura média de escombreira (m)	Área de escombreira (m²)	Área de escombreira (ha)
	2090000	2,9	720690	4	180172,4138	18
				6	120114,9425	12
				8	90086,2069	9
				10	72068,96552	7





## 12.3.1 Tabela de cálculo de escombreira em socalcos opção 1

Socalcos opção 1	Angulo em rad	0,61	Angulo em rad	0,61	Angulo em rad	0,61
	Densidade	2,9	Densidade	2,9	Densidade	2,9
	Estéril (T)	Volume de estéril (m³)	Estéril (T)	Volume de estéril (m³)	Estéril (T)	Volume de estéril (m³)
	6830000	2355172,4	6830000	2355172,4	6830000	2355172,4
	Socalcos 4 m altura, angulo médio do talude 35°, comprimento c		Socalcos 6 m altura, angulo médio do talude 35°, comprimento c		Socalcos 8 m altura, angulo médio do talude 35°, comprimento c	
	$\text{seno}(35)=4/H$		$\text{seno}(35)=6/H$		$\text{seno}(35)=8/H$	
	H	7,0	H=	10,5	H=	13,9
	$H^2=a^2+b^2$		$H^2=a^2+b^2$		$H^2=a^2+b^2$	
	a (m)	4	a (m)	6	a (m)	8
	b (m)	5,7	b (m)	8,6	b (m)	11,4
	H (m)	7,0	H (m)	10,5	H (m)	13,9
	Comprimento do socalco estimado em c		Comprimento do socalco estimado em c		Comprimento do socalco estimado em c	
	c (m)	500	c (m)	500	c (m)	500
	Área do triangulo= $b*a/2$		Área do triangulo= $b*a/2$		Área do triangulo= $b*a/2$	
	A (m²)	11,4	A (m²)	25,7	A (m²)	45,7
	Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c		Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c		Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c	
	V (m³)	5712,6	V (m³)	12853,3	V (m³)	22850,4
	Nº de socacos=Volume total/Volume de socacos		Nº de socacos=Volume total/Volume de socacos		Nº de socacos=Volume total/Volume de socacos	
	Nº	412,3	Nº	183,2	Nº	103,1



## 12.3.2 Tabela de cálculo de escombreira em socalcos opção 2

Socalcos opção 2	Angulo em rad	0,61	Angulo em rad	0,61	Angulo em rad	0,61
	Densidade	2,9	Densidade	2,9	Densidade	2,9
	Estéril (T)	Volume de estéril (m³)	Estéril (T)	Volume de estéril (m³)	Estéril (T)	Volume de estéril (m³)
	7240000	2496551,7	7240000	2496551,7	7240000	2496551,7
	Socalcos 4 m altura, angulo médio do talude 35°, comprimento c		Socalcos 6 m altura, angulo médio do talude 35°, comprimento c		Socalcos 8 m altura, angulo médio do talude 35°, comprimento c	
	seno(35)=4/H		seno(35)=6/H		seno(35)=8/H	
	H	7,0	H=	10,5	H=	13,9
	$H^2=a^2+b^2$		$H^2=a^2+b^2$		$H^2=a^2+b^2$	
	a (m)	4	a (m)	6	a (m)	8
	b (m)	5,7	b (m)	8,6	b (m)	11,4
	H (m)	7,0	H (m)	10,5	H (m)	13,9
	Comprimento do socalco estimado em c		Comprimento do socalco estimado em c		Comprimento do socalco estimado em c	
	c (m)	500	c (m)	500	c (m)	500
	Área do triangulo= $b*a/2$		Área do triangulo= $b*a/2$		Área do triangulo= $b*a/2$	
	A (m²)	11,4	A (m²)	25,7	A (m²)	45,7
	Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c		Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c		Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c	
	V (m³)	5712,6	V (m³)	12853,3	V (m³)	22850,4
	Nº de socalcos=Volume total/Volume de socalcos		Nº de socalcos=Volume total/Volume de socalcos		Nº de socalcos=Volume total/Volume de socalcos	
	Nº	437,0	Nº	194,2	Nº	109,3



## 12.3.3 Tabela de cálculo de escombreira em socalcos opção 3

Socalcos opção 3	Angulo em rad	0,61
	Densidade	2,9
Estéril (T)	Volume de estéril (m^3)	
2090000	720689,7	
Socalcos 4 m altura, angulo médio do talude 35º, comprimento c		
seno(35)=4/H		
H	7,0	
H^2=a^2+b^2		
a (m)	4	
b (m)	5,7	
H (m)	7,0	
Comprimento do socalco estimado em c		
c (m)	500	
Área do triangulo=b*a/2		
A (m^2)	11,4	
Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c		
V (m^3)	5712,6	
Nº de socalcos=Volume total/Volume de socalcos		
Nº	126,2	

Angulo em rad	0,61
Densidade	2,9
Estéril (T)	Volume de estéril (m^3)
2090000	720689,7
Socalcos 6 m altura, angulo médio do talude 35º, comprimento c	
seno(35)=6/H	
H=	10,5
H^2=a^2+b^2	
a (m)	6
b (m)	8,6
H (m)	10,5
Comprimento do socalco estimado em c	
c (m)	500
Área do triangulo=b*a/2	
A (m^2)	25,7
Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c	
V (m^3)	12853,3
Nº de socalcos=Volume total/Volume de socalcos	
Nº	56,1

Angulo em rad	0,61
Densidade	2,9
Estéril (T)	Volume de estéril (m^3)
2090000	720689,7
Socalcos 8 m altura, angulo médio do talude 35º, comprimento c	
seno(35)=8/H	
H=	13,9
H^2=a^2+b^2	
a (m)	8
b (m)	11,4
H (m)	13,9
Comprimento do socalco estimado em c	
c (m)	500
Área do triangulo=b*a/2	
A (m^2)	45,7
Volume por socalco=Área do triangulo*comprimento do socalco c	
V (m^3)	22850,4
Nº de socalcos=Volume total/Volume de socalcos	
Nº	31,5



## 12.3.4 Tabela de conclusão

Socalcos opção 1	Estéril (T)	Densidade	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura de muro (m)	Volume por socalco (m <sup>3</sup> )	Número de socalcos
	6830000	2,9	2355172,4	4	5712,6	412,3
				6	12853,3	183,2
				8	22850,4	103,1

Socalcos opção 2	Estéril (T)	Densidade	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura de muro (m)	Volume por socalco (m <sup>3</sup> )	Número de socalcos
	7240000	2,9	2496551,7	4	5712,6	437,0
				6	12853,3	194,2
				8	22850,4	109,3

Socalcos opção 3	Estéril (T)	Densidade	Estéril (m <sup>3</sup> )	Altura de muro (m)	Volume por socalco (m <sup>3</sup> )	Número de socalcos
	2090000	2,9	720689,7	4	5712,6	126,2
				6	12853,3	56,1
				8	22850,4	31,5